

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO**

**ESCOLA DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS**

**DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA**

**Luiz Ben Hassanal Machado da Silva**

**A CRISE DA OBJETIVIDADE, A EPISTEMOLOGIA POPPERIANA E O  
“PROGRAMA DE HEISENBERG”**

**Guarulhos**

**2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO**

**ESCOLA DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS**

**DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA**

**A CRISE DA OBJETIVIDADE, A EPISTEMOLOGIA POPPERIANA E O  
“PROGRAMA DE HEISENBERG”**

Dissertação apresentada no programa de pós-graduação em Filosofia do Departamento de Filosofia da Escola de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade Federal de São Paulo, para a obtenção do título de mestre em Filosofia, sob orientação do Prof. Dr. Claudemir Roque Tossato.

**Guarulhos**

**2015**

## Sumário

Agradecimentos.....	4
Resumo.....	5
Palavras-Chave.....	5
Abstract.....	6
Keywords.....	6
Introdução.....	8
Capítulo 1: Epistemologia e objetividade no pensamento de Popper.....	15
1. A epistemologia de Popper.....	18
1.1. O problema do indutivismo na proposta positivista.....	19
1.2. Distinção entre lógica do conhecimento e psicologia do conhecimento.....	23
1.3. O indutivismo e o dedutivismo popperiano na solução do problema da base empírica.....	25
2. Considerações entra lógicas, regras metodológicas e o racionalismo auto crítico.....	35
2.1. A <i>Sociedade Aberta e seus Inimigos</i> , o falseacionismo e o racionalismo auto crítico.....	38
2.2. Regras metodológicas.....	41
2.3. A objetividade como pressuposto extra lógico derivado do racionalismo auto crítico.....	43
3. Esclarecimentos sobre o uso do conceito de metafísica.....	46
4. No que a crítica ao racionalismo não crítico toca sua crítica a Heisenberg? Uma visão preliminar.....	50
Capítulo 2: O programa de Heisenberg.....	52
1. A “influência” de Einstein: “é a teoria que decide o que nos podemos observar”.....	52
2. <i>The Physical Principles of Quantum Theory</i> .....	56
3. O plano de fundo do programa de Heisenberg.....	59
4. Limitações de conceitos.....	61
5. Experimentação e linguagem na indução do princípio de incerteza.....	65
5.1. Fórmula de Heisenberg como limite de aplicação de conceitos clássicos.....	65

5.2.	Fórmula de Heisenberg e limite do conhecimento.....	67
5.3	A intromissão do observador pelo princípio de incerteza.....	71
6.	O espectro de Copenhague.....	72
7.	Colocação do Embate.....	80
<b>Capítulo 3: O ataque de Popper.....</b>		<b>81</b>
1.	O problema da probabilidade.....	85
1.1.	Delimitação do escopo do capítulo sobre a teoria da probabilidade e o objetivo a ser alcançado.....	85
1.2.	A teoria de von Mises e seus problemas.....	89
1.3.	A teoria frequencial modificada.....	92
1.4.	Tornar um enunciado de probabilidade falseável.....	98
1.4.1.	O uso de enunciados de probabilidade em física.....	101
1.5.	Teoria da propensão, uma rápida menção.....	104
1.6.	Conclusão sobre enunciados de probabilidade.....	107
2.	A interpretação estatística e suas consequências.....	107
2.1.	A fórmula de Heisenberg e o princípio de incerteza: observação, objeto e sujeito.....	108
2.2.	A interpretação estatística.....	111
2.3.	Trivialidade matemática e a “redução do pacote de ondas”.....	119
2.4.	“Um sério engano em determinado experimento imaginário”.....	122
2.4.1.	“Nem tão sério assim”.....	125
3.	Razões metodológicas.....	130
4.	Críticas à interpretação estatística de agregado corpuscular.....	136
Considerações finais.....		139
Bibliografia.....		142

## **Agradecimentos:**

Agradeço ao apoio financeiro da Capes/Cnpq e à Universidade Federal de São Paulo (Unifesp).

Ao Professor Doutor Claudemir Roque Tossato pela orientação atenciosa e paciente.

Ao Professor Doutor Osvaldo Pessoa Jr. pelo auxílio que me prestou quanto às questões acerca da mecânica quântica e suas interpretações.

Ao Professor Doutor Alexandre Ferreira que compôs a banca de qualificação e apontou questões precisas e importantes.

Ao amigo Edmundo que me auxiliou com conselhos acerca da redação e da postura frente a um problema a ser tratado.

Aos amigos Paulo José de Almeida Pereira e Lucas Torrices Romião “Periquito” que em discussões acerca de diversos problemas inspiraram-me vários pensamentos.

Ao meu irmão Renain Bilisário Michel Machado da Silva pelo apoio e observações acerca do tema, sempre imbuídas de muita erudição.

À minha irmã Heloisa Machado da Silva pelo apoio e observações pertinentes. Além de fazer a revisão do Abstract.

Aos meus pais José Luiz Souza Honorato da Silva e Joana Sueli Machado da Silva pelo apoio incondicional.

Dedicado à Thais de Oliveira Antônio, a mulher a quem amo.

## **Resumo:**

Nessa investigação nos concentraremos no período de consolidação da teoria quântica, sobretudo naquilo que toca o livro *A Lógica da Pesquisa Científica*, de 1934. O centro da investigação é à crítica de Popper ao pensamento indutivista e subjetivista de Heisenberg, que por meio de considerações da filosofia da linguagem e com o apoio de defensores da filosofia positivista, construiu com outros partidários da chamada Interpretação de Copenhague a interpretação hegemônica da teoria quântica. O dedutivismo realista de Popper, apresentado no livro *Lógica da Pesquisa Científica*, visa combater essa visão, através de uma defesa da objetividade e do realismo que escapou dos limites da Epistemologia e ganhou ares éticos. Popper defendeu a Interpretação Estatística, que é um ramo da teoria corpuscular.

Demonstraremos como que a interpretação acerca do alcance da Epistemologia opõe esses pensadores. Para Heisenberg a objetividade devia ser deixada de lado, a partir da constatação empírica do Princípio de Incerteza. O método científico deve, segundo o físico alemão, limitar os conceitos da linguagem clássica e aplica-los nas descrições dos fenômenos quânticos segundo as limitações operacionais dos conceitos. Para Popper, a metodologia dispensa questões linguísticas e apreende o método científico como sendo baseado na testabilidade, o que impõe que a análise epistemológica seja feita somente após a teoria ter sido conjecturada.

Investigaremos a partir do pensamento de Popper e veremos como sua defesa do falseacionismo impõe uma interpretação da teoria quântica diferente daquela preconizada por Heisenberg.

**Palavras-chave:** Epistemologia, Filosofia da Física, Filosofia da Ciência, Teoria Quântica, Popper, Heisenberg, Positivismo, Interpretação de Copenhague.

**Abstract:**

In this investigation we will focus on the period of consolidation of the quantum theory, specially, on what concerns the book *Logic of Scientific Discovery*, of 1934. The center of this investigation is the Popper's critics to the inductivism and subjectivism of Heisenberg thought that, through concepts of the philosophy of language and the support of positivist philosophy advocates, built with other supporters of Copenhagen Interpretation, the hegemonic interpretation of quantum theory. The realistic deductivism of Popper, submitted in the *Logic of Scientific Discovery*, aim to tackle this position, through a defense of objectivity and realism that pushed the boundaries of epistemology and acquired ethical air. Popper supported the statistical interpretation of quantum theory, a branch of corpuscular interpretation.

We will show how the interpretation of the epistemological range opposes these thinkers. To Heisenberg the objectivity must be set apart from the empirical realization of the Principle of Uncertainty. The scientific method, according to the German physicist, must limit the concepts of classical language and apply them in the quantum phenomena descriptions according to the operational limitations of concepts. According to Popper, the methodology exempts linguistic questions and perceives the scientific method as grounded on testability, which imposes that the epistemological analysis has to be made only after the theory has been conjectured.

We will investigate from the thought of Popper and we will see how his defense of falseacionism imposes an interpretation of the quantum theory different from those preconized by Heisenberg.

**Keywords:** Epistemology, Philosophy of Physics, Philosophy of Science, Quantum Theory, Popper, Heisenberg, Positivism, Copenhagen Interpretation

“[Há] aqueles que se recusam admitir que a ciência pensa e que a identificam aos objetos das técnicas que ela suscitou, a ciência reduzida a uma atividade prática de engenheiros, prosaica transformação de formas materiais, longe do mundo das ideias, dos puros conceitos e, por exemplo, da filosofia, de que ela estaria irremediavelmente separada. Mas essas imagens (ou essas fantasias) não resistem á mais simples tentativa de se informar diretamente” – Michel Paty<sup>1</sup>

## **Introdução**

Popper, segundo suas próprias palavras, pretende dar respostas, com sua teoria do conhecimento, aos problemas que emergiam do cenário dos desenvolvimentos da Física Moderna no início do século passado, como ele diz “uma teoria do aumento de conhecimento deveria ter algo especial a dizer acerca do desenvolvimento da Física e do conflito de opiniões entre os estudiosos dessa disciplina” (POPPER, 1976, p. 98). De fato, na primeira metade do século XX, a mecânica quântica demandava explicações filosóficas e epistemológicas para as suas asserções. A objetividade da mecânica quântica era constantemente questionada pelas interpretações anti-intuitivas sobre os resultados experimentais. Os adeptos da interpretação hegemônica, a Interpretação de Copenhague (JAMMER, 1974, p. 247), tais como Bohr e Heisenberg, “sacrificavam” a objetividade em favor de uma interpretação que, visando à coerência lógica, destituía a descrição da realidade como fim da ciência.

Popper declaradamente tinha em Heisenberg o alvo principal de suas críticas, pois este defendia mais claramente o operacionalismo (POPPER, 1976 p. 106). Heisenberg atribui aos procedimentos operacionalistas o papel de limitar o uso dos conceitos e isto, na visão de Popper, liga-se a uma interpretação subjetivista. Popper chega a afirmar que não entendia o pensamento de Bohr e questionava se alguém o entendesse (POPPER, 1976, p. 107), por isso, entre Bohr e Heisenberg como defensores da interpretação de Copenhague, Popper tinha como alvo principal de suas críticas o físico alemão Heisenberg, o operacionalismo de Heisenberg era declarado. O físico alemão defende que para eliminar os elementos metafísicos (POPPER, 2010a, p. 239) e as contradições entre os experimentos e as

---

<sup>1</sup> (PATY, 2008, p. 15)



formulações teóricas seria ideal que “nenhum conceito entre na teoria que não tenha sido experimentalmente verificado” (HEISENBERG, 1949, p. 1). Vê-se que este intento é mencionado já na primeira página do prefácio da obra *The Physical Principles of Quantum Theory*. Jammer ressalta que o operacionalismo que caracterizou o pensamento de Heisenberg, quando este participou dos congressos em Chicago que deram luz a esse livro, foi devido ao questionamento de Einstein a respeito do significado do termo “observação” em física.

De um lado ele [Heisenberg] encontrava um formalismo matemático da mecânica quântica muito bem sucedido para ser revogado e, de outro lado, ele observava um “caminho” das partículas na câmara de Wilson. Mas como ligá-los? Foi neste ponto que ele se lembrou de sua fala ao Colóquio de Física de Berlin na primavera de 1926 e sua subsequente conversa com Einstein sobre o significado de “observação” em Física. Einstein havia dito “É a teoria que decide o que nós podemos observar”. Heisenberg agora sentia que a solução jazia neste enunciado (JAMMER, 1974, p. 57).

Essa afirmação de Heisenberg soa estranho, afinal Einstein combatia o operacionalismo, mas Heisenberg aproxima-se da afirmação de Einstein, “É a teoria que decide o que nós podemos observar” e do operacionalismo, a partir daí, atenuado. Parece-nos que Heisenberg reduz o operacionalismo ao método de limitação da aplicação dos conceitos clássicos na mecânica quântica, entre esses conceitos, o conceito “observação”.

No prefácio da obra *The Physical Principles of Quantum Theory*, Heisenberg claramente sugere que os princípios epistemológicos clássicos estavam sendo questionados pela física moderna desde o aparecimento da teoria da relatividade. De um lado, a teoria da relatividade de Einstein eliminava o conceito clássico de simultaneidade, exibindo que “a linguagem ordinária é aplicável somente à descrição de experimentos nos quais ambos, a constante gravitacional e a recíproca da velocidade da luz podem ser consideradas como negligenciáveis” (HEISENBERG, 1949, p. 3). De outro, através do princípio de incerteza, a mecânica quântica requer uma revisão na distinção entre *observador* e *objeto*, pois, segundo Heisenberg, a perturbação ocasionada pelo observador não é negligenciável. Como resultado,

temos no regime quântico mudanças descontínuas no estado do objeto. Assim interpretadas, a fórmula de Heisenberg ( $\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi$ ) afirma que o *conhecimento* preciso da grandeza  $p$  torna o *conhecimento* da grandeza  $q$  ilusório. Esta relação, chamada de princípio da incerteza, é considerada por Heisenberg como uma *lei da natureza* (HEISENBERG, 1949, p. 2).

Heisenberg estabelece um plano para responder à situação da física moderna na qual os cientistas *tentam classificar e sintetizar* as descrições dos resultados experimentais. A dificuldade é apontada em dois pontos: primeiro, na tentativa de descrever relações causais e, segundo, em realizar generalizações abandonando o *sólido fundamento experimental* (HEISENBERG, 1949, p. 1). A verificação experimental, neste sentido, não apenas fornece o significado do conceito, mas limita o alcance de suas aplicações. A verificação experimental advogada por Heisenberg para fundamentar os termos da mecânica quântica é entendida por Jammer como uma preferência pela análise operacional do conceito. Esclarecer o significado de um conceito é descrever um experimento pelo qual ele possa ser medido (JAMMER, 1974, p. 58).

Em resumo, Heisenberg questiona a objetividade, por esta ter como pressuposto uma cisão entre sujeito e objeto, alegando que uma *lei da natureza* impede que o enunciado seja objetivo, afinal, o princípio de incerteza exhibe uma situação em que o conceito diz respeito ao *conhecimento do observador* acerca de uma grandeza, ou da relação entre o conhecimento de uma e da *ignorância* (ou ilusão) do observador em relação à outra grandeza.

Como alternativa ao pensamento epistemológico subjacente ao “Programa de Heisenberg”, Popper concebe um critério de demarcação entre enunciados científicos e metafísicos que impõe a objetividade aos enunciados científicos, objetividade que “reside na circunstância de eles [os enunciados] poderem ser intersubjetivamente submetidos a testes” (POPPER, 2010a, p. 46). Para Popper, o fundamento que Heisenberg pretende atribuir à teoria da mecânica quântica, através da verificação experimental, é contraditório com o critério de demarcação baseado na falseabilidade. Os enunciados erigidos pelo método empregado por Heisenberg cairiam, então, no reino dos enunciados metafísicos. A estratégia de Popper para demonstrar essa tese é defender que, havendo possibilidade de se calcular a trajetória passada da partícula, essa tem realidade. Ao negar a realidade da trajetória, Heisenberg estaria lidando com o cálculo de uma entidade metafísica, no sentido de não ser suscetível ao falseamento,

nesse caso nem à verificação, afinal seria um cálculo possível para o formalismo, porém despido de significado físico.

Através de seu critério de demarcação como falseabilidade, Popper desenvolve um método científico que se sustenta, não na fonte do conhecimento científico que Heisenberg sustenta que deva ser a verificação experimental, mas na possibilidade de testes intersubjetivos dependentes da forma lógica do enunciado. Os enunciados devem ser suscetíveis de refutação por *modus tollens*. Defende o dedutivismo contra o indutivismo. É a relação dedutiva entre a teoria (um sistema de enunciados universais) e o enunciado básico (enunciados singulares), que garante, não somente a objetividade, mas a própria cientificidade da teoria. Por outro lado, segundo Popper, o indutivismo não pode responder ao problema de Hume, que demonstra a impossibilidade lógica de partir de enunciados singulares para enunciados universais.

Contudo, a falseabilidade tem problemas para lidar com os enunciados probabilísticos, que emergem como os enunciados próprios do regime quântico. Os problemas desta adequação saltam à vista ao se notar que, ao mesmo tempo em que “desempenham papel decisivo na física moderna, são claramente impervios ao falseamento estrito” (POPPER, 2010a, p. 160). O falseamento é possível para enunciados de probabilidade somente através da atenção a regras metodológicas adequadas. Mesmo se aceitarmos as dificuldades intransponíveis pelo indutivismo apontadas por Popper, como o problema da demarcação e da base empírica, a presença de enunciados tão claramente incompatíveis com o falseacionismo dramatizam a situação do filósofo.

Para solucionar o problema da probabilidade, Popper elabora uma definição de probabilidade que seja objetiva (primeiramente através de uma teoria frequencial e, posteriormente, pela teoria da propensão) e sustenta que “todos os problemas da interpretação da Mecânica Quântica podem ser considerados como problemas relativos à interpretação do cálculo de probabilidades” (POPPER, 1976, p. 100). Na aplicação de sua teoria da probabilidade na teoria quântica, ressaltaremos as regras metodológicas como fundamentais para o empreendimento científico.

Diante do cenário acima exposto, nossos esforços tentam demonstrar, em última instância, que não eram somente questões físicas que direcionaram a interpretação proposta por Heisenberg e que Popper, ciente da existência de pressupostos filosóficos presentes na obra de Heisenberg, se fundamenta sobre teses filosóficas, como a falseabilidade e a defesa do racionalismo autocrítico, para defender uma interpretação da teoria quântica que fosse adequada à sua posição filosófica. No decorrer veremos que não somente questões epistemológicas, mas também éticas, habitam o caminho argumentativo com que Popper pretende refutar Heisenberg.

Veremos que enquanto Heisenberg pretende eliminar a cisão entre sujeito e objeto de suas considerações, baseando-se na ideia de que a lei natural do Princípio de Incerteza refuta tal cisão, Popper impõe a objetividade como uma regra metodológica e, logo, insuscetível de refutação através de enunciados empíricos. Interpretando como incompatíveis, a intromissão do observador e a objetividade, Popper elabora meios de interpretar a teoria quântica sem a intromissão do observador. Ressalto que como Popper encara a objetividade como uma hipótese metafísica de uma regra metodológica, essa deve ser defendida por uma análise metodológica da ciência e, para defender a ciência como uma empresa adequada ao racionalismo autocrítico, a objetividade deve ser mantida.

No primeiro capítulo investigaremos os conceitos de epistemologia e objetividade com o intento de delimitar no pensamento de Popper como a objetividade é pressuposta na atividade científica. Veremos que o dedutivismo implica que a teoria seja conjecturada antes da análise epistemológica. Como a epistemologia é considerada por Popper um método dedutivista, a atividade científica não partilha de métodos indutivos de análise. Veremos também nesse capítulo que o método dedutivo é o único capaz de lidar com os problemas do indutivismo (problema de Hume) e o problema da demarcação entre enunciado científico e metafísico. Veremos como a análise de Popper apresenta a falseabilidade como critério de enunciado empírico e como esse desenvolvimento permite a resolução do problema da base empírica. Ainda veremos como o deslocamento da epistemologia evita o psicologismo (inerente ao indutivismo).

Popper permite que haja motivações metafísicas para a formação de teorias, desde que a teoria não contenha enunciados metafísicos. Assim, Popper inverte a situação, ao não

eliminar o significado da metafísica, elimina-a da epistemologia por esta ser somente o estudo do método científico. Observando o critério de demarcação, Popper pode acusar o indutivismo de não ter condições de eliminar todas as formas pelas quais a metafísica pode ser contrabandeada para a teoria científica.

Nas últimas seções do capítulo será demonstrado como as regras metodológicas, caracterizadas como normas extralógicas, asseguram a efetivação do método científico para Popper. Com leituras da obra *Sociedade Aberta e seus Inimigos*, veremos como o método defendido por Popper se integra ao que ele chama de *racionalismo autocrítico* e como a defesa do racionalismo se coaduna com a crítica ao *irracionalismo* e ao *racionalismo não-crítico*.

Concluiremos sugerindo que o indutivismo descrito por Heisenberg pode ser enquadrado no chamado *racionalismo não-crítico* atacado por Popper.

No segundo capítulo, veremos como Heisenberg, em sua obra *The Physical Principles of Quantum Mechanics*, defende o operacionalismo de forma moderada, atentando às críticas de Einstein acerca de seu artigo de 1927. Buscaremos em suas críticas às interpretações realistas da mecânica quântica os elementos indutivistas e naturalistas que Popper apontou no livro *Lógica da Pesquisa Científica*. Demonstraremos como Heisenberg entende que sua interpretação é definitiva, pois é consequência do dado experimental. Portanto, a objetividade e a causalidade seriam negadas pela própria experiência que fundamenta de maneira indutiva uma interpretação subjetivista através do princípio de incerteza, este entendido como uma *lei da natureza* que afirma que a perturbação causada pelo observador limita as possibilidades de aplicação dos conceitos clássicos aos fenômenos do regime quântico. Veremos ainda como Heisenberg entende os enunciados probabilísticos na mecânica quântica como limitações no conhecimento, através de sua interpretação da incerteza. Também será investigada a crítica do físico alemão à teoria estatística da mecânica quântica através de considerações subjetivistas e linguísticas, que atrelam o significado dos conceitos às possibilidades de verificação experimental.

Nas últimas seções do capítulo buscaremos apontar o papel de Heisenberg na Interpretação de Copenhague e sua relação com a interpretação de Bohr. Veremos algumas

disparidades entre esses físicos e como Heisenberg se aparta filosoficamente da interpretação de Bohr, aproximando-se do pensamento criticado por Popper.

No terceiro capítulo, voltaremos à crítica de Popper a Heisenberg exposta no capítulo IX da *Lógica da Pesquisa Científica*. Investigaremos a reinterpretação da fórmula de Heisenberg ( $\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi$ ) de modo a considerar seus resultados como um enunciado objetivo, portanto, afeito à falseabilidade. Porém, Popper precisou desenvolver uma teoria objetiva da probabilidade, veremos como Popper realiza esse intento interpretando a probabilidade como frequência. Veremos que os enunciados de probabilidade somente são falseáveis respeitando algumas regras metodológicas adequadas para esse fim. Veremos brevemente a sua interpretação da propensão e algumas críticas feitas à essa interpretação e, também, como essa própria interpretação exhibe alguns problemas da interpretação frequencial.

Diante das dificuldades impostas pelo caráter probabilístico dos enunciados da mecânica quântica, veremos como a teoria da probabilidade de Popper possibilita uma visão objetiva de seus enunciados, reinterpretação das relações de *incerteza*, como relações de *dispersão*. Popper, forjando o conceito de *enunciados formalmente singulares*, através de uma teoria frequencial da probabilidade, pretende apresentar uma teoria positiva (POPPER, 1976, p. 98) da mecânica quântica, baseada em sua teoria do conhecimento. Veremos ainda algumas objeções à teoria dos coletivos estatísticos e como são insuperáveis pela teoria de Popper.

Nas considerações finais, veremos que Popper, diferentemente de Heisenberg, considera que a objetividade não pode ser contraditada por experimentos. Apontaremos como as diferentes concepções de epistemologia influenciaram as diferentes conclusões interpretativas dos enunciados da mecânica quântica. A objetividade, para Popper, não pode ser questionada por enunciados empíricos por ser um enunciado não-falseável, portanto, metafísico. Veremos como as regras metodológicas desempenham um papel central na teoria de Popper, sendo o fundamento de muitos mecanismos para que se consiga a falseabilidade. Deverá ficar claro que aceções diferentes sobre os conceitos epistemológicos guiam as diferentes interpretações teóricas e que compromissos epistemológicos são considerados por ambos os autores (Popper e Heisenberg) para construir suas interpretações dos enunciados da mecânica quântica.

## Capítulo 1 – Epistemologia e objetividade no pensamento de Popper

A crítica de Popper a Heisenberg surgiu inicialmente em um artigo publicado na *Naturwissenschaften* (JAMMER, M., 1974, pág. 174). Popper acusa Heisenberg de não ter conseguido levar adiante seu programa de purgar a mecânica quântica de entidades metafísicas. Ele definiu esse problema como o *Programa de Heisenberg* (POPPER, 2010a, pág. 239), no qual se intentava definir os conceitos de acordo com a verificabilidade experimental das magnitudes. Nota-se que esse programa, de acordo com a leitura popperiana, está de acordo com uma concepção que opõe metafísica e verificação, no sentido de que somente o que pode ser *verificado* através da observação pode ser considerado como não-metafísico.

Para o programa de Heisenberg, os enunciados que não são verificados experimentalmente (que não são *observados*) recebem o rótulo de enunciados sem sentidos (*meaningless*) (JAMMER, 1974, pág. 76). A distinção entre observável e metafísico é a distinção entre significativo e não significativo; o que atribui significado a um conceito é a descrição de um experimento em que a entidade conceituada pode ser medida. Grosso modo, interpretadas através dessas linhas, as relações de Heisenberg ( $\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi$ ) apresentariam como não significativos enunciados que apontam como precisas as magnitudes canonicamente conjugadas (JAMMER, 1974, pág. 76) que recaem sobre esta relação, como posição e momentum, destituindo de significado o conceito de trajetória, rotulando-o, dessa maneira, de metafísico.

Chibeni (2005 - p. 181-92) procura demonstrar as diferentes interpretações das relações de Heisenberg tal como apresentadas por Bohr em 1928 e por Heisenberg no artigo de 1927. No artigo de “The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory” de Bohr, as relações de Heisenberg são “baseadas na ideia de dualidade onda-partícula” (CHIBENI, 2005, p.: 182). No decorrer da apresentação simplificada de Bohr, as relações de de Broglie, que sugerem a ideia de ondas de matéria, surgem apoiando a interpretação de que os entes físicos em si não possuem posição e momentum bem definidos, “ela[s] diria[m] respeito a uma indeterminação intrínseca aos entes físicos” (CHIBENI, 2005 – p. 183). Chibeni chama essa interpretação de “versão ontológica”.

No artigo de 1927 e no livro de 1930 - nos quais Heisenberg elabora a apresentação das fórmulas de Heisenberg - o ponto de partida é diferente da “versão ontológica” de Bohr, chegando a conclusões físicas e filosóficas discrepantes. Heisenberg inicia o artigo de 1927 enunciando o objetivo operacionalista de definição de conceitos físicos a partir de definições de experimentos físicos “com o auxílio dos quais, se pretenda medir a ‘posição do elétron’” (CHIBENI, 2005 - p. 183). Essa apresentação de Heisenberg é chamada por Chibeni de “versão epistemológica”. Tal pretensão operacionalista será mais detidamente abordada no capítulo dois desta dissertação. No momento, salientamos que Heisenberg não parte, como Bohr, da suposição de que os objetos quânticos são ondas, mas da suposição de que se trata de corpúsculos, com posição e momentum definidos. A fórmula  $\delta x \cdot \delta p_x \geq h$  não se refere à indeterminação intrínseca dos entes físicos, mas à impossibilidade experimental de definir posição e momentum com precisão maior do que a determinada pela fórmula. Vê-se ainda que Heisenberg, partindo de uma posição operacionalista, considera significativos somente conceitos relacionados a experimentos que permitam mensuração física.

Lendo a parte inicial do livro de 1930, *The Physical Principles of the Quantum Theory*, é forte a impressão de que Heisenberg concebe que, enquanto os resultados experimentais não comportam discussões epistemológicas (HEISENBERG, 1949, p. 1), pois os resultados podem ser descritos na linguagem cotidiana (HEISENBERG, 1949, p. 1), as discussões surgem quando tentamos passar dessas descrições para a teoria. Idealmente seria necessário que “nenhum conceito *entre na teoria* que não tenha sido experimentalmente verificado” (HEISENBERG, 1949, p. 1), diante da impossibilidade desse procedimento, Heisenberg propõe que os conceitos sejam limitados de acordo com suas possibilidades de verificação experimental. O que primeiro salta à vista é que o projeto de Heisenberg é investigar os limites conceituais dos termos presentes na teoria através dos resultados experimentais; conseqüentemente, a teoria, através dos limites conceituais, é modificada pelos resultados experimentais. Certamente, não é a isso que Popper se opõe. A oposição de Popper está no método empregado de construção conceitual e, conseqüentemente, teórica, através da análise de significado dos conceitos pelo crivo experimental, supostamente legitimador dos conceitos e da teoria defendida por Heisenberg. Em outras palavras, Popper critica a redução da legitimidade de enunciados teóricos (universais) à legitimidade de conceitos haurida de



experimentos singulares. A crítica de Popper aponta para o indutivismo presente em se justificar o universal através do singular.

Chibeni relaciona a tentativa de estabelecimento do significado do conceito através da definição experimental como associada à perspectiva *positivista* dominante na primeira metade do século XX (CHIBENI, 2005, p. 182-3)<sup>2</sup>. Vê-se também que há uma relação que submete a epistemologia à crítica da linguagem, uma vez que problemas epistemológicos somente surgem quando a linguagem cotidiana não dá conta do fenômeno observado.

A acusação de Popper de que Heisenberg não conseguiu purgar a teoria dos elementos metafísicos deve ser analisada tendo em vista que Popper define epistemologia de uma maneira diferente daquela forma que Heisenberg parece adotar na passagem supramencionada. É a crítica de Popper à indução que o leva a redefinir epistemologia e pensar os problemas relacionados à indução a partir do problema da demarcação. Hacoem (HACOEM, 2000, p. 207) descreve o pensamento de Popper como passando da crítica ao indutivismo para o critério de demarcação a partir da compreensão de que a falseabilidade resolve o problema da indução. A obra *Lógica da Pesquisa Científica* encarnaria, segundo Hacoem, esta compreensão e também a ideia de que o problema da demarcação é o principal problema da epistemologia.

Veremos na primeira seção deste capítulo como Popper traça e defende a redefinição de epistemologia. Esta redefinição pressupõe o *método dedutivo de prova* (POPPER, 2010a, p. 30) que, opondo-se frontalmente ao método indutivo, torna-se um método centrado na ideia de prova e teste, no qual apenas é possível analisar uma teoria após ela ter sido formulada. A distinção entre psicologia do conhecimento e epistemologia, ou lógica da pesquisa científica, faz-se crucial para compreender a crítica de Popper, pois o fundamental para Popper é garantir a objetividade pelo seu critério de demarcação.

---

<sup>2</sup> Contrariamente a afirmação de Chibeni, Mara Beller não credita a postura operacionalista de Heisenberg a um adesão ao positivismo, mas a uma *concessão relutante à legitimação positivista* (BELLER. M, 1996 - p. 186). Trataremos desse assunto no capítulo 2.

## 1. A epistemologia de Popper

Nas primeiras linhas da obra *Lógica da Pesquisa Científica*, lê-se que a tarefa da lógica do conhecimento (POPPER, 2010a, p. 27) é proporcionar uma análise lógica do procedimento próprio das ciências empíricas, que é formular hipóteses e submetê-las a testes, confrontando-as com a experiência. É notável que Popper já tenha inserido o conceito de *teste*, que norteará toda sua obra. Esse conceito se apresenta como a parte fundamental do “método das ciências empíricas” que a epistemologia pretende analisar.

Ainda lê-se que os recursos de confrontação entre a teoria e o mundo é a observação e a experimentação. Todos esses conceitos devem se enredar de maneira a solucionar os problemas que perturbam as ciências empíricas, como o problema da demarcação e todos aqueles que dele derivam, tal como o problema da indução e o problema da base empírica. Salientemos a passagem posterior em que o filósofo afirma que “o único motivo que tenho para propor meu critério de demarcação [que como veremos é a base sobre a qual se deita o “método das ciências empíricas”] é o de ele ser proveitoso: com seu auxílio, muitas questões podem ser esclarecidas e explicadas” (POPPER, 2010a, pág. 57). Tais são as questões de cunho filosófico, defendidas no prefácio da obra<sup>3</sup>.

Como a proposta de Popper requer que sejam analisadas as relações lógicas estabelecidas no “método das ‘ciências empíricas’”, somente as relações lógicas importam para estabelecer o que caracteriza as “ciências empíricas”. Obviamente, ao definir que a teoria do conhecimento deve importar-se tão somente com análises lógicas, impõe-se investigar uma característica que seja suscetível de tal análise. Importa também esclarecer as relações das teorias submetidas a testes com os recursos mencionados da *observação* e da *experiência* (problema da base empírica), para se ter clareza do que tratam tais testes e analisar suas características lógicas.

---

<sup>3</sup> Apesar de tudo, há quem acredite que a Filosofia possa colocar problemas genuínos acerca das coisas, e que, portanto, ainda tenha a esperança de ver esses problemas discutidos. - POPPER, K. – 2010a – pág. 23.

## 1.1 O problema do indutivismo na proposta positivista

O cenário filosófico que Popper se insere (CHIBENI, 2005, p. 184) considera que a marca característica da ciência empírica é o emprego do “método indutivo”, isto é, a ciência empírica emprega métodos para passar de enunciados singulares para enunciados universais, de experiências para *leis naturais*. Logo, não havendo justificativa lógica para esta passagem, o método das ciências empíricas deveria arcar com os mesmos problemas lógicos já apontados por Hume, a impossibilidade de justificar rigorosamente um enunciado universal a partir de um conjunto de enunciados singulares. Devem, os adeptos desse pensamento, demonstrar um princípio de indução que justifique tal passagem.

A justificação, que se dá através de um princípio de indução, não pode ser analítica, uma vez que seriam apenas transformações tautológicas e não haveria um problema da indução. Se for sintético *a posteriori*, a justificativa cairia em uma redução ao infinito, afinal, um princípio de indução deve ser um enunciado universal que, pela lógica indutiva, deve ser justificado através de enunciados singulares, como é o princípio que regula essa legitimação, outro princípio mais geral deve assegurar essa justificativa e assim por diante (POPPER, 2010a, p. 29). Outra posição, defendida por Kant, é fornecer um princípio que seja *sintético a priori* e absolutamente justificado. Esta tentativa é rejeitada tanto pelos indutivistas, quanto por Popper. O problema do *apriorismo* é a condição de um enunciado sintético *a priori* que, apesar de não ser uma tautologia, logicamente demonstrável de forma definitiva, não se dá ao embate empírico. Como vimos, para Popper os testes, base para o empreendimento científico, se dá pela confrontação da teoria com a experiência. Uma crítica poderá surgir quando apresentarmos posteriormente a ideia de Popper de que há regras metodológicas que se colocam além da discussão empírica. Contudo, o *apriorismo* arroga aos enunciados sintéticos *a priori* a força de um enunciado epistemologicamente inescapável, o que não se dá com as regras empíricas. Popper e os indutivistas prezavam o caráter empírico e, embora discordassem do significado do termo empírico, buscavam fundamentar a ideia de que é no conteúdo empírico do enunciado que jaz sua cientificidade. A diferença entre tais linhas de pensamento é a natureza do conteúdo empírico da teoria. Para Popper o conteúdo empírico é ressaltado através da falseabilidade do enunciado que permite a testabilidade da teoria,

enquanto os positivistas atribuíam à origem observacional da verificação a atribuição da propriedade “empírico” aos enunciados científicos.

Apesar deste problema, os indutivistas pretendem estipular a verificação como critério de demarcação entre ciência empírica e metafísica. São os enunciados singulares da experiência que fundamentam as teorias, expressas por enunciados universais. A marca característica das ciências empíricas são suas fontes empíricas, que se dão como enunciados singulares. A teoria deveria assim ser formulada a partir de enunciados singulares da experiência. Seria isso que atribui, segundo o indutivismo, o caráter empírico às teorias.

Uma das formas de indutivismo atacadas por Popper é o positivismo lógico<sup>4</sup>. É inclusive esta linha de pensamento que Heisenberg flerta no livro citado por Popper, *The Physical Principles of the Quantum Mechanics*. O positivismo do Círculo de Viena considera que, a partir da ideia de que a ciência é um conjunto de enunciados, o caráter empírico estaria ligado à possibilidade de reduzir os enunciados gerais a enunciados atômicos, que descrevem percepções.

Tal programa é influenciado por Wittgenstein. Em sua obra “A Causalidade na Física Atual” Schlick apresenta como fruto de uma conversa pessoal com Wittgenstein a ideia de que a causalidade é uma “indicação para a formulação de enunciados” (SCHLICK, 1988, p. 16). Schlick começa o artigo com o seguinte argumento: somente os enunciados derivados da experiência perceptual teriam significado; e, mais do que isso, que todos os enunciados são ligados a condições perceptíveis (SCHLICK, 1988, p. 3). O manifesto do Círculo de Viena, “A Concepção Científica do Mundo”, também cita Wittgenstein ao discorrer acerca da *origem lógica dos descaminhos metafísicos*, argumentando que

(...) o erro da metafísica consiste na concepção de que o pensamento possa conduzir a conhecimento a partir de si, sem a utilização de qualquer material empírico, ou que possa, ao menos, a partir de estados-de-coisas dados

---

<sup>4</sup> “A principal razão por que os epistemologistas de tendências empiricistas propendem para “método de indução” está, aparentemente, em crerem que só tal método pode oferecer um critério adequado de demarcação. Isso se aplica, de maneira especial, aos empiristas que seguem a bandeira do ‘Positivismo’” (POPPER, K. – 2010a – p. 33).

alcançar conteúdos novos, mediante inferência. (HAHN, H. & NEURATH & CARNAP, 1986, p. 11)

Vê-se que parte da argumentação que defende o empirismo parte do pensamento de Wittgenstein e Russell. Mas, além disso, esses pensadores figuram, segundo os autores do manifesto, entre os representantes principais do que chamam de concepção científica de mundo (SCHLICK, 1988, p. 20).

Concluindo a argumentação principal, o critério de demarcação, equivalente ao critério de significação, distingue a ciência empírica por sua natureza, ou essência (POPPER, 2010a, p. 36). A significatividade como elemento próprio do enunciado científico, sem mais considerações, implicaria este enunciado como empírico, condenando os enunciados metafísicos, considerados “sofismo e ilusão”.

A crítica linguística do significado das palavras empregadas nas teorias científicas está presente no pensamento de Heisenberg. Chibeni apresenta o caso do experimento de raios gama, descrito no livro *The Physical Principles of the Quantum Theory*, de 1930, em que Heisenberg apresenta sua visão operacionalista. Heisenberg, flertando com o positivismo, interpreta o experimento do microscópio de raios gama (que será detidamente explicado no capítulo II dessa dissertação) demonstrando que a mensuração da posição resulta na *destruição do conhecimento* (HEISENBERG, 1949, p. 21) do momentum. Nota-se que se trata de uma afirmação acerca do sujeito, não do mundo. Ressaltemos ainda que, para conhecer claramente um conceito em física, é necessário *especificar experimentos definidos com ajuda dos quais planejamos medi-lo [...] de outra forma [o conceito] não teria significado* (HEISENBERG, 1983, p. 64). Em outras palavras, as relações de incerteza demonstrariam os limites do uso do conceito posição e momentum, assim, qualquer uso que exceda a precisão permitida experimentalmente, não teria significado.

Vide também as passagens do livro *The Physical Principles of the Quantum Theory*, nas quais afirma que pretende fundamentar sua teoria na *base sólida da prova experimental* (HEISENBERG, 1949, p. 1) para evitar contradições entre a teoria e os experimentos e que, para isso, *parece necessário exigir que nenhum conceito entre na teoria que não seja experimentalmente verificado* (HEISENBERG, 1949, p. 1). Veremos que esse método é

impossível de ser realizado e Heisenberg propõe que os conceitos sejam tão-somente limitados; mesmo assim, a verificação experimental assume um papel central, em Heisenberg, na limitação dos conceitos empregados na teoria. Vimos que Heisenberg utiliza termos próximos do positivismo como verificação e sem-sentido (*meaningless*). Inclusive relaciona-os da seguinte maneira: é exigida *verificação experimental* para evitar que palavras *sem-sentido* entrem na teoria, pois para se entender um conceito científico é necessário que ele possa ser experimentalmente definido, definição sem a qual o conceito perde sentido.

Popper atribui esses métodos de demarcação entre enunciados significativos e sem-sentido, por um lado, à fundamentação do enunciado científico na verificação experimental, por outro lado, à ânsia de destituir a metafísica de significado. Segundo Naraniecki (2010, p. 520), Popper rejeita a oposição radical dos positivistas entre o “‘bom’ método científico e o ‘mau’ método metafísico”. Lembremo-nos que segundo Popper, para instituir o método indutivista é necessário um princípio de indução que justifique a passagem de um enunciado singular para um enunciado universal. Ainda há a interpretação de Reichenbach comentada por Popper que assegura a legitimidade da teoria a partir da probabilidade. A crítica de Popper dessa teoria é sustentada de maneira diferente: a- Teorias têm probabilidade 0, portanto, segundo a proposta de Reichenbach, nunca podem ser aceitas; b- A redução de leis naturais a enunciados elementares, que são singulares, seria dependente, senão de um princípio de indução, ao menos de um princípio de probabilidade que recairia nos mesmos problemas lógicos apontados por Popper no indutivismo. Assim, a dificuldade apontada por Hume não pode ser superada, se o método científico for assentado em tal critério de demarcação.

Sem um princípio que seja legítimo, é impossível justificar a crença em leis naturais. Sem a devida redução, as leis naturais seriam consideradas como enunciados metafísicos e, assim, a ciência ver-se-ia imersa em enunciados metafísicos que não podem ser considerados significativos. De fato, essa hipótese é aventada por Schlick que, seguindo Wittgenstein, afirma que as leis naturais não são enunciados genuínos, mas prescrições de enunciados (SCHLICK, 1988, p. 24-5). Também Carnap afirma que as ciências empíricas podem passar muito bem sem as leis naturais, por essas terem probabilidade zero (POPPER, 2010a, p. 41-2).

O anti-indutivismo de Popper se cristaliza por uma proposta dedutivista, que obedece à direção de transmissão da verdade dos enunciados universais para enunciados singulares, da teoria para os enunciados básicos. Assim, o “método das ciências empíricas” parte de uma

teoria já apresentada previamente, sendo que as circunstâncias da formulação da teoria não podem ser examinadas por um método dedutivo. Para resguardar o dedutivismo, deve ser formulado um método que forneça um adequado critério de demarcação.

Para a devida superação desse problema, Popper sugere a falseabilidade como critério de demarcação, pois o método dedutivo não compartilha dos problemas relacionados à indução. Mas, para que este critério dedutivo seja aplicável, Popper define a epistemologia como as relações que se apresentam somente *após* a teoria ter sido conjecturada e sendo ainda injustificada (POPPER, 2010a, p. 33). A justificação não está na natureza de sua conjectura, mas está presente somente após serem submetidas a testes e nunca de forma definitiva. Popper inverte a situação contra os positivistas, ao considerar que “toda descoberta científica encerra um elemento ‘irracional’” (POPPER, 2010a, p. 32), sem ser suscetível da mesma crítica, pois o contexto da descoberta, em que tais elementos estão presentes, é excluído das considerações epistemológicas para Popper.

## **1.2 Distinção entre lógica do conhecimento e psicologia do conhecimento**

A rejeição de Popper ao psicologismo está intrinsecamente ligada à sua definição de epistemologia, segundo a qual

...diz respeito não a questões de fato (o *quid facti?* de Kant), mas apenas a questões de justificação ou validade (o *quid juris?* de Kant). Suas indagações são do tipo seguinte. Pode um enunciado ser justificado? Em caso afirmativo, como? (POPPER, 2010a, p. 36).

Seguindo essa definição de epistemologia, o fato de que as ciências factuais se fundamentam em percepções sensoriais não tem relação com a epistemologia. A confusão entre lógica e psicologia é o germe do psicologismo que sustenta o indutivismo.

Segundo os indutivistas, é a origem semântica dos conceitos que justificam a teoria. Teorias em que apareçam somente conceitos significativos têm sua validade garantida, dessa forma é a *reconstrução racional* do processo de descoberta que pode apresentar a justificação da teoria. Os processos mentais que partem de percepção, de enunciados como “vejo” e “percebo”, são aqueles que devem ser tratados pela epistemologia. A legitimidade é trazida pela possibilidade de redução dos enunciados científicos a “enunciados atômicos”, como “juízos de percepção” e “proposições protocolares” (POPPER, 2010a, p. 36). Assim, os enunciados científicos seriam não somente devidamente demarcados, segundo os indutivistas, mas sua relação com a base empírica estaria dada. É tal atitude, que afirma que é a *reconstrução racional* o objeto próprio da epistemologia, que Popper chama de *Naturalista* (POPPER, 2010a, p. 54).

Nota-se que essa discussão se inicia com uma crítica à doutrina segundo a qual devemos alcançar um critério de significação (POPPER, 2010a, p. 53). Tal critério leva aqueles que o aceitam (seja qual for um pretense critério de significação, mas especialmente aqueles defendidos pelo positivismo lógico) a uma situação em que o critério em si, o enunciado que o exprime, torna-se “inexpugnável e definitivo”<sup>5</sup>. Popper acusa essa atitude de ser não crítica, pois o critério poderia ser arbitrariamente utilizado para descaracterizar qualquer crítica como “pseudoproblema”. A passagem do problema do significado para a caracterização do *Naturalismo* (em resumo a busca de se caracterizar a Ciência pela análise “empírica” da ação efetiva dos cientistas) se dá através do fato de que, segundo Popper, a partir do critério de significação aceito pelos positivistas apenas dois tipos de enunciados existem: os *analíticos* e os *enunciados empíricos*, e são esses e somente esses presentes nas ciências empíricas. Desses pressupostos, segue-se que, para os positivistas, se a metodologia não é analítica, é um ramo das ciências empíricas (POPPER, 2010a, p. 54).

A crítica de Popper se estabelece sobre a estrutura lógica dos enunciados universais e suas relações *dedutivas* com os enunciados singulares, pois não há transmissão de verdade que parta da verdade de enunciados singulares para enunciados universais, e qualquer tentativa de estabelecê-la cairá no problema do indutivismo. A origem perceptual não estabelece a verdade nem a justificativa de qualquer enunciado de um ponto de vista lógico

---

<sup>5</sup> Popper cita Wittgenstein – WITTEGENSTEIN, L –. Apud - POPPER, 2010a, pág. 54.



(POPPER, 2010a, p. 104-5). É, então, a análise dedutiva a característica distinta das ciências empíricas. Esta análise deve partir de enunciados universais e verificar suas relações com os enunciados singulares. São os enunciados universais (as leis naturais) enquanto conjecturas não justificadas (POPPER, 2010a, p.33), que se oferecem à análise epistemológica.

Popper desenha uma cisão que apresenta, de um lado, o indutivismo, que considera a epistemologia uma investigação do processo de formulação da teoria, que revelaria o conteúdo empírico da teoria através da redução de seus enunciados a enunciados elementares, ou de percepção, ou observacionais. De outro lado, o dedutivismo, que por sua característica lógica, considera que as análises epistemológicas apenas podem ser feitas após o enunciado universal ter sido conjecturado. Popper coloca-se ao lado do dedutivismo e exprime os pressupostos que asseguram a sua aplicabilidade.

### **1.3 O indutivismo e o dedutivismo popperiano na solução do problema da base empírica**

Agassi compara as ideias de Popper às do positivismo ressaltando a preferência pelo criticismo por Popper e pela certeza pelos positivistas. O autor afirma que a influência de Mach – que reduzia o mundo da experiência científica às sensações (AGASSI, 2008, p. 320) e a influência da análise conceitual de Wittgenstein, conseqüentemente a rejeição de sentido do conhecimento sintético *a priori* – levou Schlick e o Círculo de Viena a buscarem o significado dos enunciados teóricos através de análises dos conceitos perceptuais como “vejo”, “percebo”, “creio”, etc (POPPER, 2010a, p. 538). Segundo Agassi, a motivação desse tipo de empreitada foi a certeza atribuída aos significados dos conceitos: “o significado é sempre certo, enquanto teorias podem ser falsas” (AGASSI, 2008, p. 319). A motivação seria a possibilidade de erigir um conhecimento certo, definitivo.

A partir da busca do indubitável, os adeptos do indutivismo são levados a atribuir o caráter científico através de sentimentos de convicção. Como concordam com a ideia de que os enunciados apenas podem ser justificados por enunciados, para estabelecer uma base

sólida<sup>6</sup> para os enunciados científicos, fiavam-se na ideia de que a verdade dos enunciados singulares da experiência é manifesta por inspeção<sup>7</sup>. A força coercitiva da experiência seria o fundamento da convicção do cientista no enunciado teórico. Segundo Popper, aqui se estabelece uma confusão entre os aspectos psicológicos e metodológicos. A convicção pessoal perseguida pelos positivistas recai sobre o interesse da psicologia empírica, não da epistemologia, que se preocupa com questões de como o enunciado pode ser justificado.

Um exemplo dado por Popper são as proposições protocolares, como os enunciados atômicos propostos por Neurath e Carnap, que compreendem os enunciados científicos como enunciados acerca de sentenças, não acerca de objetos. Carnap afirma que haveria a necessidade de traduzir os enunciados da linguagem ordinária em termos formais. Esses, contudo, têm como base os enunciados protocolares, enunciados acerca de impressões imediatas, como o exemplo dado por Neurath “{Protocolo de Otto, às 15 hs e 17m. [O pensamento verbal de Otto ocorreu às 15 hs e 16 m; (na sala, às 15 hs e 15m, havia uma prancheta que foi observada por Otto)]}” ((POPPER, 2010a, p. 103). Esse é um bom exemplo, pois, sendo mais avançado do que outras propostas anteriormente, considera os enunciados atômicos como enunciados revogáveis, admitem revisão. Contudo, segundo Popper, mesmo os enunciados protocolares não conseguem evitar certa arbitrariedade na aceitação ou rejeição da proposição. Porém, em sua crítica à crítica de Popper a Neurath, Jordi Cat ressalta as formas pelas quais Neurath pretende estabelecer as possibilidades de revisões das proposições protocolares “elas devem ser comparadas com outros protocolos por sua aceitabilidade como um protocolo válido” e “Neurath permite a possibilidade de quando confrontada com uma teoria, possamos escolher rejeitar um protocolo válido como não compulsivo (*not binding*)” (CAT, 1995, p. 222). O fato de ser revogável é de particular importância, pois demonstra que, embora esteja na base da ciência, Neurath não considera as proposições protocolares como enunciados elementares, tais enunciados não gozam de privilégios lógicos.

Cat afirma que a estratégia de inserir na proposição científica o protocolo, isto é, “o nome do protocolador, um termo do pensamento, um estado de estimulação especificando a

---

<sup>6</sup> Termo usado por Heisenberg, 1949, p.1

<sup>7</sup> “Frequentemente, são as experiências perceptuais encaradas como passíveis de fornecer uma espécie de justificação para os enunciados básicos. Sustentou-se que tais enunciados se “baseiam” nessas experiências. Que sua verdade se torna “manifesta por inspeção” através dessas experiências; ou que se torna “evidente” por força de tais experiências, e assim por diante” (POPPER, 2010a, p. 45).

modalidade do sentido e o enunciado factual” (CAT, 1995, p. 221), é focar na reconstrução do conhecimento científico, formulado com o fim de capturar a natureza pública da empresa científica e preservar a memória de caráter estritamente empírico evitando, assim, o realismo representacional.

Segundo Popper, pela confusão entre lógica e psicologia presente na própria forma do enunciado, que faz considerações acerca do estado mental do experimentador, Neurath não se preocupa em apresentar regras necessariamente metodológicas para a rejeição do enunciado. Assim, Neurath não pode evitar um sabor de arbitrariedade na revogação ou aceitação do enunciado. A questão que aparentemente surge nesse debate é menos um fundamento irrevogável do enunciado científico básico, ou elementar, mas a disputa entre o realismo rejeitado por Neurath na própria formulação das proposições protocolares e o realismo defendido por Popper, independente de seu caráter empírico ou metafísico.

Diferentemente do empirismo lógico, a proposta de Popper, que exclui considerações psicológicas acerca de convicções subjetivas, não sofre das dificuldades do psicologismo, como as listadas abaixo:

- I- O problema de Hume, que demonstra a impossibilidade lógica de inferir qualquer enunciado universal a partir da verdade de qualquer seleção e classificação de enunciados singulares, incluindo aqueles acerca de convicções subjetivas;
- II- a experiência imediata é muito rica para servir de uma base simples para enunciados científicos, além de incluir estados psicológicos emocionais;
- III- um enunciado científico requer problemas teóricos.

O problema lógico já descrito estabelece-se sobre o fato de que a transmissão da verdade ocorre do enunciado universal para os enunciados singulares deles decorrentes. Além disso, segundo Popper, a indução não tem razão lógica de ser sem o devido princípio de indução que, como Hume deixou claro (POPPER, 2010a, p.29), deve ser um enunciado universal. O problema da indução parte do erro de querer estabelecer um enunciado universal partindo de enunciados singulares de maneira logicamente válida, é o problema da justificativa lógica dessa passagem. A solução seria estabelecer um princípio de indução que

justificasse a passagem de enunciados singulares para universais (princípio que deve ser necessariamente um enunciado universal, pois se fosse singular o mesmo problema persistiria), sendo estabelecido sobre enunciados singulares através de um princípio regulador, deve ser justificado por outro princípio de mais alto grau, dando ensejo a uma regressão infinita. Assim, sem um princípio de indução (que deve ser necessariamente universal), os enunciados singulares não apresentam a forma lógica adequada para justificar a aceitação, ou rejeição de um enunciado universal.

A riqueza dos dados da experiência (ponto II) evoca a necessidade de problemas teóricos (ponto III). Ora, a coleção de experiências imediatas simultâneas é uma rede emaranhada e confusa de diversas sensações que incluem estados psicológicos como “estar irritado com algo experiencial”, ou “estar deleitando algo experiencial”, além de incluir estímulos sensoriais de todos os sentidos, como audição, olfato etc. Registrar o que está experimentando agora é uma tarefa impossível de ser cumprida (POPPER, 2010a, p. 113-4). Somente é possível cumpri-la com o devido direcionamento teórico que reclama atenção para certas ocorrências, negligenciando outras irrelevantes.

Por um lado, para Popper, os dados científicos resultantes do experimento são uma resposta para uma questão colocada pela teoria: qualquer coleção do que experimentamos não é capaz de ser organizada para servir como base para um enunciado universal, pois

O teórico propõe certas questões bem delimitadas ao experimentador e este, através de experimentos, tenta chegar a uma resposta decisiva para essas questões, e não para outras (...). Desse modo, é ele [o teórico] que mostra o caminho ao experimentador (POPPER, 2010a, p. 114-5).

Heisenberg aparentemente sugere o oposto e impõe aos termos constitutivos da teoria a avaliação da experiência para assegurar sua justificação através da verificação experimental.

Dificuldades surgem somente na tentativa de classificar e sintetizar os resultados (...), em resumo, construir uma teoria (...). Parece necessário

exigir que nenhum conceito entre na teoria que não tenha sido experimentalmente verificado (HEISENBERG, 1949, p. 1).

Popper argumenta que não é a verificação da teoria através dos resultados experimentais que faz de uma teoria aceitável ou não. Mas é a *sobrevivência* da teoria depois de diversos testes experimentais severos que faz de uma teoria aceitável. A questão da justificação da teoria, por ser epistemológica, é lógica, e não pode ser relacionada a convicções. Musgrave, ao se contrapor às críticas de Susan Haack<sup>8</sup>, ressalta a diferença de estatuto entre enunciados e experiências, atribuindo à aceitação, ou a rejeição, de uma tese o mesmo estatuto da experiência, como um evento. A aceitação de um enunciado básico não é logicamente coercitiva. Assim, não há relação causal entre experiência e enunciados, mas somente relações causais entre eventos (o que é um evento na filosofia de Popper será explicado posteriormente), tais como experiências que indicam um enunciado básico aceitável e a aceitação ou rejeição da teoria (MUSGRAVE, 2010, p. 10).

Musgrave ressalta o valor do lema “somente um enunciado justifica um enunciado” que significa que o dado empírico somente não justifica um enunciado, que somente pode ser logicamente justificado através de deduções a partir de outros enunciados. Segundo o comentador, Popper define a tese psicologista como “a doutrina de que os enunciados podem ser justificados não somente por enunciados, mas também por experiências perceptuais” (MUSGRAVE, 2010, p. 7). É exatamente a definição psicologista mencionada por Popper que sua solução do problema da base empírica ira responder.

Popper ressalta que o positivismo pretende abolir a distinção entre enunciados e experiências perceptuais: “ou bem toda a ciência é parte do meu saber, de minha experiência sensória, ou bem a minha experiência sensória se torna parte da rede de argumentos científicos” (POPPER, 2010a, p. 113). A alegada força basilar das proposições protocolares é a pressuposição da continuidade epistemológica entre enunciado de percepções subjetivas, como “{Protocolo de Otto, às 15 hs e 17m. [O pensamento verbal de Otto ocorreu às 15 hs e 16 m (ocorreu [...] que foi observado por Otto)]}” e enunciados objetivos “{[(na sala, às 15 hs e 15m, havia uma prancheta sobre a mesa)]}” (POPPER, 2010a, p.103). O enunciado que

---

<sup>8</sup> Críticas de Haack parafraseadas por Musgrave: “O ‘argumento antipsicologista’ combina a tese antipsicologista de que há relações causais, mas não lógicas, entre experiências e enunciados, com a tese de que a justificação é uma relação lógica, não causal” (MUSGRAVE, 2010, p. 10).

afirma a existência da prancheta sobre a mesa está imerso em considerações subjetivas, pois ocorre dentro de uma experiência pessoal. As impressões subjetivas participariam de maneira necessária da justificação da teoria.

Da verdade de uma proposição protocolar não podemos deduzir a verdade de uma proposição como “havia uma prancheta sobre a mesa”. Sempre há a possibilidade de uma ilusão, alucinação, ou engano do cientista. Assim, a crença do cientista em sua proposição protocolar não justifica a aceitação de um enunciado básico. De fato, nem a crença de milhares de cientista poderia garantir tal justificação.

Rejeitando a solução para o problema da base empírica do psicologismo, como o falseacionismo poderia resolvê-lo? Sobretudo, diante da possibilidade sempre presente de evitar o falseamento por meio de hipóteses *ad hoc*?

A resposta de Musgrave a Haack apresenta a solução implicitamente. Diante da impossibilidade de justificação última da teoria científica a partir de dados da experiência, da impossibilidade de verificação e falseamento definitivo, Popper define o que são os enunciados básicos de acordo com considerações lógicas. Como o enunciado universal teórico não pode ser verificado por qualquer enunciado singular, como “Todos os corvos são negros” não pode ser justificado por “Este corvo é negro”, ou mesmo “Estes milhares de corvos são negros”, não é possível a verificação do ponto de vista lógico. Por outro lado, a falsidade de um enunciado universal, como “Todos os corvos são negros” é assegurada pela verdade de um enunciado singular, como “Este corvo é não-negro”. Assim, o que um enunciado singular pode dizer de uma teoria, expressa por um enunciado universal, é afirmar que a teoria é falsa por *modus tollens*.

Essa é a base lógica da solução do problema da base empírica, nota-se que não há considerações a respeito da formação da teoria. Contudo, de um ponto de vista lógico, de fato, é sempre possível desviar-se do falseamento, e tais críticas dos convencionalistas parecem a Popper incontestáveis. O critério de falseabilidade não é isento de ambiguidades, e não poderia sê-lo se acarretasse tão somente o aspecto lógico da teoria (POPPER, 2010a, cap. 2, p. 86). Aqui, revela-se a importância da metodologia, isto é, dos procedimentos *práticos* -

supondo correto o termo usado por Rosende<sup>9</sup> (2009, p. 150) - acerca da aplicação da falseabilidade a sistemas de enunciados. Os sistemas são empíricos, falseáveis, de acordo com as regras do método empírico, a forma lógica não garante que o enunciado seja tratado de maneira empírica; assim, não garantem a “empiricidade” do enunciado básico. Regras metodológicas se fazem necessárias.

Uma definição de enunciado empírico que somente assevere de forma positiva a dedução de um enunciado singular de um enunciado universal não pode ser sustentada dessa forma, Popper define enunciado empírico como uma divisão do conjunto dos enunciados básicos. Uma parcela deve ser rejeitada pela teoria e formará o conjunto dos enunciados potencialmente falseadores (que contradizem a teoria), os demais formarão o conjunto de enunciados que corroboram a teoria, que a teoria permite. Contudo, a teoria não afirma que os enunciados básicos permitidos são verdadeiros.

Como um enunciado de existência singular, como “Este corvo, presente na coordenada espaço temporal k, é não-negro”, não pode ser reproduzido, não deve ser aceito como prova da falsificação de uma teoria; desta maneira, uma regra metodológica que oriente a falsificação, considerando a reprodutibilidade intersubjetiva do enunciado falseador, deve ser esclarecida. Aqui, as considerações de Popper extrapolam a simples forma lógica do critério de conteúdo empírico como falseabilidade. Para que haja falsificação de uma teoria, deve ser aceita uma hipótese de baixo nível de universalidade, uma hipótese, não um simples enunciado singular falseador. Sucintamente, uma hipótese empírica (falseável) de baixo nível de universalidade deve ser corroborada pelos enunciados correspondentes aos resultados experimentais reproduzíveis intersubjetivamente.

Nesse ponto, o tratamento de Popper ao problema da base empírica ganha contornos mais claros. A hipótese falseadora deve ser um enunciado empírico, isto é, deve cumprir os mesmos requisitos de empiricidade dos enunciados do sistema avaliado, portanto, pode ser avaliada da mesma forma e com respeito à sua corroboração ou falseamento. Seu falseamento,

---

<sup>9</sup> Rosende afirma na conclusão de seu artigo "Popper on Refutability: Some Philosophical and Historical Question" que “a falseabilidade de uma teoria não revelará sua habilidade de confrontar-se com a experiência, mas nossa habilidade de nos comportarmos como se confrontasse”. Posteriormente afirma que isso demonstra que “um grande acordo foi firmado nas décadas passadas sobre as regras falseacionistas da prática científica”. A prática científica diz respeito à habilidade do cientista em seu ofício (2009, p. 150).

possibilidade pressuposta por sua caracterização como um enunciado empírico de um ponto de vista lógico, passa pela formulação de uma hipótese falseadora ulterior com menor grau de universalidade, em princípio, um processo potencialmente *ad infinitum*, como apontado pelo trilema de Fries.

Um enunciado básico deve cumprir dois critérios: a- de um enunciado universal, sem condições iniciais, não são dedutíveis enunciados básicos; b- pode haver contradição entre um enunciado básico e um enunciado universal. Os enunciados básicos afirmam uma ocorrência, isto é, é um “enunciado de existência singular”, com coordenadas espaço-temporal e tem como negação um “enunciado de não existência singular”. Um enunciado que nega uma teoria tem maior grau de universalidade, afirma um evento, é um “enunciado puramente existencial”. Um “enunciado puramente existencial”, como  $\exists x \sim Px$ , é a negação de um “enunciado puramente universal”, como  $\forall x Px$ .

Entre estas possíveis formas lógicas para os “enunciados empíricos básicos”, estão as que expressam os “enunciados de existência singular” que cumprem os critérios de conteúdo empírico por não serem deduzíveis de enunciados universais isolados, sem condições iniciais, e, por serem deduzíveis de um enunciado puramente existencial, podem contradizer um enunciado universal, que exclui eventos.

Seja T uma teoria, C as condições iniciais (que incluem coordenadas espaço-temporais) de um experimento para testar a teoria e Q o resultado esperado teoricamente, sendo que  $Q_k \rightarrow \sim P_k$  (isto é, se Q, então  $\sim P$ ), então P é incluído no enunciado potencialmente falseador e Q no enunciado potencialmente corroborador. Atentando-se ao critério (a) acima, o enunciado básico não pode ser deduzido sem as condições iniciais. Por exemplo, se a teoria T é “todos os corvos são negros” o teste para deduzir o enunciado básico deve conter as condições iniciais C. Se “Todos os corvos são negros” e “Agora (16:07), na Biblioteca Mário de Andrade, há um corvo”, o esperado pela teoria é “Agora (16:07), na Biblioteca Mário de Andrade, há um corvo e ele é negro”, sendo Q “Há corvos negros” o *enunciado puramente existencial*. Suponhamos que este enunciado foi falseado, “Agora (16:07), na Biblioteca Mário de Andrade, há um corvo e ele é cinza”, sendo P “Há corvos cinzas” o *enunciado puramente existencial*. Note-se que Q e P enunciam eventos, a classe de todas as ocorrências respectivamente de corvos negros e cinzas. O enunciado básico falseador da teoria T foi



“Agora (16:07), na Biblioteca Mário de Andrade, há um corvo e ele é cinza”, que não enuncia um evento, a classe de todas as ocorrências, mas uma ocorrência, coordenada espaço-temporalmente; este enunciado é um *enunciado de existência singular*  $P_k$ , e é ele que falseia a teoria T. Vê-se que ele, diferentemente de P, somente é dedutível de T em conjunção com C, critério (a), vê-se também que contradiz T por *modus Tollens*, critério (b): Se “Todos os corvos são negros” e “Agora (16:07), na Biblioteca Mário de Andrade, há um corvo”, então não é o caso que “Agora (16:07), na Biblioteca Mário de Andrade, há um corvo e ele é cinza”; como “Agora (16:07), na Biblioteca Mário de Andrade, há um corvo e ele é cinza”, então não é o caso que “Todos os corvos são negros”. Lembrando que, segundo a tese de Duhem, não se pode ter certeza de qual parte da conjunção T & C foi falseada. Contudo, tendo-se aceito o enunciado básico  $P_k$ , aceitando que “Agora (16:07), na Biblioteca Mário de Andrade, há um corvo e ele é cinza”, certamente a tese T “Todos os corvos são negros” é refutada. Chegamos à forma lógica do enunciado básico, um *enunciado de existência singular*.

A regra metodológica que exige a reprodutibilidade intersubjetiva da ocorrência, isto é, a observação individualizada de um evento, corresponde ao fato lógico de que um enunciado universal não é contraditado por uma ocorrência, mas por um evento. A reprodutibilidade da ocorrência corresponde à indiferença de um *enunciado puramente existencial* em relação à individualidade de um *enunciado de existência singular*. Mas, um *enunciado básico*, o conjunto infinito de todos os *enunciados de existência singular* não contradiz um *enunciado universal* sem a conjunção com condições iniciais. Além disso, sempre é possível, em princípio, fazer modificações *ad hoc* dos enunciados auxiliares para “salvar a teoria do falseamento”. O falseamento não está livre de objeções e dificuldades que são intransponíveis do ponto de vista estritamente lógico, pois, não há possibilidade de falseamento estrito. Vejamos como Popper lida com essas questões através do recurso às regras metodológicas.

Evitar estratégias que impeçam o falseamento de uma teoria é uma regra metodológica, pois, não há constrangimento lógico que conduz à falsificação, tendo em vista que o enunciado falseador também é suscetível de refutação, o que leva à possibilidade lógica de uma regressão infinita: dessa forma, o cientista aceita uma hipótese falseadora de maneira consensual. A comunidade científica aceita o enunciado, sem recorrer a justificações

ulteriores<sup>10</sup>. Contudo, pode não ocorrer o acordo entre os cientistas e a hipótese falseadora, pois esta pode ser submetida a novos testes. Não havendo nenhum acordo convencional acerca das hipóteses falseadoras, há o risco de uma “babel” (POPPER, 2010a, p.111-2). Lembremo-nos de que Hacoem identifica a presença de artifícios convencionais na concepção de metodologia de Popper (HACOHM, 2000, p. 117). Como veremos adiante, os artifícios convencionais de Popper ressaltam o caráter hipotético dos enunciados científicos, mesmo dos enunciados básicos, como marca do que mencionará na *Sociedade Aberta e seus Inimigos* como concessão ao irracionalismo. A forma lógica da hipótese aceita consensualmente é correlacionada à atitude de não ter nenhuma teoria científica, nem mesmo enunciados básicos anteriormente aceitos como definitivos, mas sempre devedores de constantes testes. O fundo dessa estratégia é moral, evitar o dogmatismo que correspondente epistemologicamente ao autoritarismo. A atitude pragmática esconde os enganos dos cientistas acerca das teorias, recobrando-os de estratégias convencionistas, como a utilização de hipóteses *ad hoc*.

Pelo que foi visto, Popper propõe uma solução para o problema da base empírica e do problema da demarcação que não faz considerações a respeito do processo de formação da teoria, método sugerido pelos indutivistas. Contudo, o problema da base empírica depende da aceitação de regras metodológicas que não podem ser consideradas como derivadas da lógica.

Como resultado, a base empírica é objetiva (POPPER, 2010a, p.104). Isto é, a base empírica garante a validade da teoria científica quando colocada de forma mais suscetível de teste intersubjetivo<sup>11</sup>, independentemente de questões acerca sobre aquilo em que se apoia nosso conhecimento. Se a epistemologia questiona como submetemos a testes enunciados científicos, considerando suas consequências dedutivas (POPPER, 2010a, p. 105), então a resposta a essa questão é objetiva. Mas, como vimos, a aceitação de um enunciado básico como falseador de uma teoria pode ser sempre questionado do ponto de vista lógico, uma vez que o enunciado básico deve ser empírico, isto é, falseável. Como a aceitação dos enunciados

---

<sup>10</sup> Hacoem ressalta esta tese de Popper. Segundo o comentador, Popper forjou o termo “enunciados básico” (*Bäsissätze*) como uma oposição às sentenças protocolares de Neurath, ainda enquanto escrevia o *Die Grundprobleme*. O caráter hipotético é a marca que distingue os enunciados básicos da proposta de Neurath. Hacoem enfatiza o caráter convencional dos enunciados básicos (2000, p. 198-99).

<sup>11</sup> Lembremo-nos de que a objetividade é considerada exatamente como a circunstância dos enunciados serem *intersubjetivamente submetidos á testes* (POPPER, 2010a, p. 46).

falseadores é consensual, uma questão de decisão metodológica, a objetividade pressuposta no enunciado básico é um consenso metodológico.

## **2. Considerações extra lógicas, regras metodológicas e o racionalismo autocrítico**

Diante dessas dificuldades lógicas apontadas por Popper no indutivismo, no que concerne ao problema da base empírica, seria possível afirmar que ou não há nada a ser dito, ou as questões que são levantadas através da *reconstrução racional da teoria* são desconsideráveis. De fato, são questões que Popper exclui da epistemologia, logo da investigação do “método das ‘ciências empíricas’”. Contudo, chega a dizer que a análise puramente lógica, “não elucidada aqueles aspectos das ciências empíricas que eu [Popper] prezo muito” (POPPER, 2010a, p. 52). Há aspectos fora do escopo da epistemologia que podem ser elucidados. O exemplo imediatamente posterior é: “um sistema como o da mecânica clássica poderá ser ‘científico’ tanto quanto se queira; mas os que o afirmam dogmaticamente estão-se colocando em *atitude* oposta à atitude crítica, a meu ver, adequada ao cientista” (POPPER, 2010a, p. 52 – grifo meu). Terminando o parágrafo com a afirmação de que quem assim proceder “jamais se beneficiará da experiência, jamais saberá como está errado” (POPPER, 2010a, p.52). Em outras palavras, afirmando a teoria científica dogmaticamente, o cientista torna a teoria metafísica. Esta passagem deve ser lida correspondentemente à passagem do livro *A Sociedade Aberta e seus Inimigos*, na qual Popper define a atitude racional como “a atitude de disposição a ouvir argumentos críticos e a aprender com a experiência” (POPPER, 1987, p. 232). A teoria é logicamente falseável, mas a *atitude* não racional do cientista dogmático a priva desta característica.

O notável nessa afirmação de Popper é que o filósofo demonstra como uma teoria que logicamente é falseável, isto é, empírica, pode se tornar metafísica através de um tratamento dogmático. Isto é,

(...), caracterizando a ciência empírica tão somente pela estrutura lógica ou formal de seus enunciados, não teremos como excluir dela aquela dominante forma de Metafísica proveniente de se elevar uma teoria científica obsoleta ao nível de verdade incontestável (POPPER, 2010a, p. 52).

De forma oposta ao positivismo lógico, Popper aponta que a *atitude* do cientista, sendo independente de qualquer caracterização lógica da teoria, pode anular seu caráter empírico.

Vemos neste ponto que, para além de qualquer consideração lógica, o cientista que pretende eliminar os enunciados metafísicos de uma teoria deve se comportar de maneira que não destrua em sua prática seu caráter empírico, mas que a submeta a testes, exibindo a falseabilidade, marca distintiva deste tipo de enunciado, e considerar suas consequências lógicas.

A Epistemologia é identificada com o método próprio da ciência, mas sua efetivação ultrapassa a discussão lógica. Impondo ao epistemólogo que faça decisões a respeito dos objetivos da ciência (POPPER, 2010a, p. 51). A resposta acerca da necessidade, ou não, de uma metodologia e do que a ciência trata depende do que o epistemólogo considera como objetivo da ciência. Identificando que os problemas da indução são intransponíveis por motivos lógicos, Popper advoga o dedutivismo como método. Como o dedutivismo aponta a falseabilidade como critério adequado de demarcação, Popper, que decide eliminar a Metafísica, tem em seu critério de demarcação a regra de ouro de seu método das ciências empíricas, ou método empírico<sup>12</sup>. Ressalto que Popper afirma ainda que há numerosos objetivos possíveis (POPPER, 2010a, p.51). A eliminação da metafísica do método empírico é uma decisão baseada em uma dentre outras que se oferecem à escolha de adotá-las ou não (POPPER, 2010a, p. 55).

Vemos que a metafísica pode se instalar na prática científica e a exclusão da metafísica do método científico é questão de decisão. Portanto, a discussão que Popper empreende

---

<sup>12</sup> A decisão aqui proposta para chegar ao estabelecimento de regras adequadas ao que denomino “Método Empírico” está estreitamente ligada a meu critério de demarcação (POPPER, 2010a, p. 51).

extrapola as questões da análise puramente lógica. Usando das passagens destacadas pelo autor, podemos afirmar, grosso modo, que o objetivo do método desenvolvido por Popper é “elaborar um conceito de ciência empírica e traçar uma linha clara de demarcação entre ciência empírica e ideias metafísicas” (POPPER, 2010a, p. 40), isto é, obedecer ao critério de falseamento. Pelas características lógicas da relação entre enunciados universais e singulares, a demarcação se dá pela regra que afirma que “deve ser possível refutar, pela experiência, um sistema científico empírico” (POPPER, 2010a, p. 42).

As relações dedutivas estão na base da demarcação e do método das ciências empíricas, contudo, a aplicação prática não pode ser levada a efeito sem decisões. Lembremos que o próprio objetivo das ciências empíricas não consiste de uma tautologia, isto é, uma coerção lógica, mas é uma decisão extra lógica. Este ponto é levantado na obra *Lógica da Pesquisa Científica*, quando são apresentados exemplos de regras metodológicas da ciência empíricas. Como exemplo, Popper cita a regra metodológica: “O jogo da Ciência é, em princípio, interminável. Quem decida, um dia, que os enunciados científicos não mais exigem prova, e podem ser vistos como definitivamente verificados, retira-se do jogo” (POPPER, 2010a, p. 56). Essa regra deixa clara a diferença entre regras metodológicas e regras lógicas, essas últimas “não se preocupam com a questão de saber se alguém se disporá a fazer a prova” (POPPER, 2010a, p. 56). As regras metodológicas das ciências empíricas são específicas das ciências empíricas e dependentes dos objetivos que se quer alcançar com o empreendimento científico. As práticas científicas para assegurar a empiricidade das teorias devem obedecer á regras como a acima.

No ponto em que a alternativa positivista fia a validação da teoria científica nas fontes da descoberta científica, Popper vê que há elementos irracionais e, segundo o critério de demarcação, metafísicos. Isso ocorre com a teoria de Newton: como é conhecido, o atomismo especulativo – teoria metafísica antiga creditada a Demócrito e Leucipo – influenciou Newton na formulação da teoria da mecânica clássica (POPPER, 2010a, p. 40), uma teoria eminentemente empírica, falseável. Contudo, as teorias metafísicas que tiveram participação na formação de teorias científicas não sustentam a justificação da teoria; assim, o método científico como reconstrução racional não pode ser levado a efeito e a metafísica, por estar presente somente na formação de teorias científicas, não deve ser considerada pela

epistemologia; afinal, como vimos, a epistemologia para Popper preocupa-se exclusivamente com as relações dedutivas que se dão após a teoria ter sido conjecturada, e não com a formação da teoria.

Tendo em mente que não há caminho lógico que leve às leis universais, cuja busca é o objetivo de todo empreendimento científico<sup>13</sup>, isto é, sendo alguma espécie de fé necessária para as descobertas científicas, fé que sob o ponto de vista lógico é metafísica (POPPER, 2010a, p. 32), como se legitima a escolha de objetivo e método das ciências empíricas, uma vez que não são de cunho analítico, nem empírico? Alguma indicação há na obra *Lógica da Pesquisa Científica*, mas em *Sociedade Aberta e seus Inimigos*, de 1945, o assunto é mais amplamente abordado e está em confluência com a obra anterior.

## **2.1 A *Sociedade Aberta e seus Inimigos*, o falseacionismo e o racionalismo autocrítico.**

Os conceitos de decisão e de escolha são usados já na primeira parte do capítulo 2 da obra *Lógica da Pesquisa Científica*, que trata do método das ciências empíricas. A metodologia, ao apresentar regras para o comportamento do cientista diante de teorias científicas, escapa à análise puramente lógica, que nada podem dizer sobre isso. Assim, os termos decisão e escolha são utilizados para descrever a situação daquilo que subjaz à metodologia defendida por Popper. As regras metodológicas e os objetivos da ciência não são precisos, nem têm tal pretensão. Assim, o postulado metodológico da falseabilidade dificilmente poderá assumir feição precisa (POPPER, 2010a, p. 93).

Nos termos presentes na obra *Sociedade Aberta e seus inimigos*, o debate entre o dedutivismo de Popper e o indutivismo do positivismo lógico é expresso como o embate entre o *racionalismo autocrítico* e o *racionalismo não crítico* (POPPER, 1987, p. 237). O *racionalismo não crítico* é descrito pela máxima “Não estou preparado para aceitar qualquer coisa que não pode ser defendida por meio da argumentação ou da experiência” (POPPER,

---

<sup>13</sup> Popper cita Einstein, e mesmo Bergson, para apontar sua visão sobre o processo psicológico da formação de teorias (POPPER, K., 2010, p. 32).

1987, p. 237), isto é, todo enunciado, em todos os níveis, deve ser justificado somente através de argumentação lógica e da experiência. Essa máxima equivale ao princípio que repudia qualquer suposição que não seja justificada pela argumentação ou pela experiência, como, por exemplos, os enunciados básicos que, para Popper, são aceitos por convenção, e o realismo. Também a crítica de Wittgenstein à metafísica<sup>14</sup>, que a caracteriza como “sem sentido”, aceita máxima semelhante. Ao erigir um critério de significação e excluir todos enunciados que não preenchem esse critério como “sem sentido”, os positivistas sofrem dos mesmos problemas que Popper aponta no *racionalismo não crítico*, sendo também os positivistas, neste ponto, não críticos.

A crítica ao *racionalismo não crítico* é lógica. Popper denuncia a máxima citada no parágrafo anterior como inconsistente, pois, se não devemos aceitar nada que não seja empiricamente (ou intelectualmente) fundamentado, devemos rejeitar também este princípio, claramente não empírico. Tal racionalismo excessivo é logicamente inconsistente. Ciente dessa dificuldade, o *racionalismo autocrítico* defendido por Popper não procura sustentar a atitude racionalista de confiar acriticamente no argumento e na experiência, o que necessariamente cairia em inconsistências lógicas. Dessa forma, a decisão de assumir a atitude racionalista é baseada em uma irracional fé na razão (POPPER, 1987, p. 238). O racionalismo autocrítico é caracterizado como uma concessão mínima ao irracionalismo (POPPER, 1987, p. 239). Porém, dessa concessão mínima ao irracionalismo decorre algo indesejável, o irracionalismo é logicamente sustentável (POPPER, 1987, p. 239). Instaura-se uma situação tal que, a partir da compreensão de que o racionalismo é autocrítico, que é livre de inconsistências lógicas, gera-se uma atitude tomada por uma fé irracional, pois somos livres para escolher entre o irracionalismo e o racionalismo autocrítico (POPPER, 1987, p. 239), ambos baseados em uma fé irracional. Defendendo essa concessão mínima, Popper está defendendo o racionalismo possível, não autoritário e democrático, baseado na crítica, e mesmo fundamentado nela. A posição de Popper ao defender o falseacionismo é desconstruir a crença em uma ciência definitiva e pautar o debate científico em regras comprometidas com a crítica livre.

---

<sup>14</sup> Popper inclui tal tipo de formulação como um tipo de paradoxo do mentiroso. Citando Wittgenstein, ele afirma que a proposição “A totalidade das proposições verdadeiras é (...) a totalidade da ciência natural, que não pertencendo à ciência natural, se o que diz é verdadeiro, então é uma proposição falsa (POPPER, K., 1998, p. 237 – nota de rodapé 6).

Notemos que o racionalismo não crítico não é logicamente sustentável e, assim, mina sua própria posição (POPPER, 1987, p. 237). Essas posições, entre as quais claramente se enquadra o indutivismo combatido no livro *Lógica da Pesquisa Científica*, revelam a Popper o caráter daninho para o próprio racionalismo.

A defesa de Popper do racionalismo autocrítico, definido como uma atitude de “disposição a ouvir argumentos críticos e a aprender da experiência” (POPPER, 1987, p. 232), esclarece a passagem da obra *Lógica da Pesquisa Científica*, na qual Popper afirma que a análise puramente lógica não elucida questões importantes e que regras puramente lógicas, que não dizem respeito ao comportamento do cientista, não conseguem evitar as formas de metafísica provenientes do comportamento do cientista dogmático. Ora, se o cientista dogmático, que se aferra na exigência de refutação estrita, “jamais se beneficiará da experiência e jamais saberá como está errado” (POPPER, 2010a, p. 52), é porque não está disposto a aprender com a experiência; em última instância, ele age de maneira oposta ao racionalismo autocrítico.

Mas, se lermos essa situação de acordo com a conclusão de Popper de que tanto o racionalismo autocrítico quanto o irracionalismo são logicamente consistentes (POPPER, 1987, p. 239), então o cientista pode, em princípio, negar-se a aceitar o falseamento de uma teoria segundo a experiência, apelando para argumentos *ad hoc*. Não há maneira de escolher entre o racionalismo autocrítico e o irracionalismo com base em argumentos logicamente coercitivos e na experiência. A escolha é baseada em uma decisão moral (POPPER, 1987, p. 239).

Novamente, os livros *Lógica da Pesquisa Científica* e *Sociedade Aberta e seus Inimigos* são complementares. Popper admite que juízos de valor e predileções pessoais, em suma, posições extralógicas, guiaram suas propostas (POPPER, 2010a, p. 39). Ainda afirma que não incidiu no erro que apontou nos positivistas, pois, “não procura matar a metafísica” (POPPER, 2010a, p. 39) e ainda afirma que “as descobertas científicas não poderiam ser feitas sem fé em ideias de cunho puramente especulativo, *metafísico*” (POPPER, 2010a, p. 39).



## 2.2 Regras metodológicas

Em se tratando de Ciência, seu objetivo é descobrir leis naturais, exemplificadas no livro *Sociedade Aberta e seus Inimigos* como: “as leis que regulam os movimentos do Sol, da lua e dos planetas, a sucessão das estações (...), a lei da gravidade, ou, digamos as leis da termodinâmica” (POPPER, 1987, p. 71). Ao evitar os problemas lógicos da indução, da base empírica e da demarcação, a forma que Popper entende como a melhor forma de se alcançar o objetivo é obedecer ao falseacionismo como critério empírico. Diante da impossibilidade lógica de se ter certeza de que tal ou tal lei é verdadeira, Popper advoga por um objetivo mais modesto, a aproximação gradativa da verdade, que seja permitida pelo método falseacionista. Para tal, é necessário crer que a razão pode aprimorar o nosso conhecimento rumo à verdade, o que exige regras metodológicas, cuja regra suprema é: “as demais regras do processo científico devem ser elaboradas de maneira a não proteger contra o falseamento qualquer enunciado científico” (POPPER, 2010a, p. 56).

Lembrando que, diferentemente das regras lógicas, as regras da ciência normatizam o comportamento dos cientistas, como a regra metodológica citada anteriormente<sup>15</sup>, a distinção entre leis científicas e leis normativas no capítulo dois do livro *Sociedade Aberta e seus Inimigos* é relevante. As leis normativas são definidas como “ou normas, ou proibições, ou mandamentos, isto é, regras tais que proíbem ou exigem certos modos de conduta” (POPPER, 1987, p. 71). A regra suprema do método científico defendido por Popper proíbe o cientista de se aferrar dogmaticamente à mecânica newtoniana, por exemplo, e defendê-la do falseamento. É uma regra que proíbe o dogmatismo, como também o uso irrestrito e *ad hoc* de hipóteses auxiliares, normatizando o seu uso de acordo com o grau de falseamento da teoria.

As leis normativas, inclusive na ciência, não são arbitrárias, mas guiadas por decisões; os homens são responsáveis por elas. Popper chama a posição que advoga de *convencionalismo crítico* (POPPER, 1987, p. 72). Tais decisões não são derivadas de *leis naturais*, mas se relacionam com elas. No caso da ciência, como seu objetivo é encontrar as

---

<sup>15</sup> “O jogo da Ciência é, em princípio, interminável. Quem decida, um dia, que os enunciados científicos não mais exigem prova, e podem ser vistos como definitivamente verificados, retira-se do jogo” (POPPER, K., 2010a, p. 56).

*leis naturais*, este objetivo guia a decisão de aceitar certas regras metodológicas, leis normativas.

A decisão de ter fé na razão é moral, pois, “afeta profundamente toda a nossa atitude para com os outros homens e para com os problemas da vida social” (POPPER, 1987, p. 239). No caso da ciência, reproduz no campo científico a possibilidade de crítica mútua, da liberdade de todos de serem ouvidos e de criticar a todos. As regras baseadas nessa decisão garantem a liberdade de pensamento, a liberdade do homem (POPPER, 1987, p. 246). Como Popper afirma que não há autoridade que garanta a legitimidade de uma teoria científica, bem como a certeza em qualquer enunciado universal em qualquer área, a teoria científica é legitimada pelo sucesso em testes realizados para falseá-la. Os testes possibilitam o controle intersubjetivo através da crítica dos outros homens dispostos a ouvir argumentos, situação que encarna a divisa racionalista crítica de Popper: “Posso estar errado e podeis estar certo, por um esforço poderemos chegar mais perto da verdade” (POPPER, 1987, p. 246).

Se lembrarmos da definição de objetividade da obra *Lógica da Pesquisa Científica*, temos que a “objetividade reside na circunstância de eles [os enunciado científicos] serem intersubjetivamente submetidos a testes” (POPPER, 2010a, p. 46). Assim, a base moral da ciência<sup>16</sup> pressupõe a possibilidade intersubjetiva de crítica, que na prática científica se dá por meio de testes, por meio da objetividade, esta, consequência do racionalismo autocrítico, a despeito das pretensões do racionalismo não crítico. Por outro lado, a convicção subjetiva, forma a base epistemológica da ciência segundo o racionalismo não crítico; assim, não pode servir de legitimação da teoria científica. A reconstrução racional da teoria (que envolve processos psicológicos e critérios linguísticos) desde sua origem (seja ela o que for) até a formulação da teoria pelo cientista individual não carrega nenhum tipo de legitimação da teoria e não interessa à epistemologia, que se preocupa com a justificativa do enunciado. A metáfora de Robinson Crusó é de particular interesse nesse ponto, pois, mesmo que os documentos nos quais Robinson Crusó se baseou fosse alguma teoria científica, dados de observação e experimentação, mesmo se os resultados fossem tão espetaculares quanto os resultados da ciência atual, na qual concorrem os cientistas mais proeminentes de nossa era,

---

<sup>16</sup> “Embora não haja base científica racional da ética, há uma base ética da ciência e do racionalismo” (POPPER, K., 1995, p. 246).

faltar-lhe-ia um elemento do método científico (POPPER, 1987, p. 226-7): a crítica de outros que lhe apontasse as falhas e os preconceitos inevitáveis, além da comunicação necessária para qualquer trabalho científico.

Agassi corrobora essa leitura ao apresentar a tese de Popper de que a ciência consiste de uma empresa social, não individual (AGASSI, 2008, p. 319). Afinal, a empresa científica não diz respeito tão somente aos sentimentos de convicção de um cientista. Sua convicção em ter experimentado uma percepção que verifica uma teoria não importa se tivermos em mente que é a comunidade científica que terá de lidar com sua pesquisa sobre dado problema da teoria. Assim, faz-se necessário, como já apontamos, que o enunciado que expressa o experimento corroborador da teoria seja o mais suscetível de crítica intersubjetiva possível, seja um enunciado falseável, ou empírico. Isto quer dizer que esse enunciado não deve fazer referências a sentimentos subjetivos como “Eu vi” ou “Eu testemunhei que o ponteiro do relógio apontava para 7”, mas tão somente a enunciados que afirmem que o mundo objetivo, o mundo intersubjetivamente testável, encontrava-se em tal estado “O ponteiro aponta para 7”.

### **2.3 A objetividade como pressuposto extra lógico derivado do racionalismo autocrítico**

Para Popper, uma teoria deve ser pressuposta para que seja possível uma análise dedutiva de suas relações com os enunciados básicos. A análise epistemológica da ciência é a análise da forma lógica do método científico. A metafísica pode estar presente, e de fato em várias oportunidades já esteve, na formulação da teoria, isto é, estava em um estado anterior à teoria (POPPER, 2010a, p. 39). Contudo, sua presença neste ponto não é relevante para a análise epistemológica. Se enunciados metafísicos (não falseáveis) estiverem presentes no sistema de enunciados científicos, estes enunciados, por sua forma lógica irrefutável por *modus tollens*, não poderão ser testáveis. Sendo a testabilidade o ponto fundamental da justificação de um enunciado científico, um enunciado metafísico presente no sistema não é científico e deve ser eliminado.

Por outro lado, um enunciado científico deve ser empírico e, pelas regras metodológicas, deve ser tratado como tal, dessa forma não deve ser protegido do falseamento. Um cientista que defende dogmaticamente uma teoria, por mais científica (testável) que seja, age de forma metafísica e elimina o caráter empírico da teoria. Para evitar esta atitude, são necessárias regras metodológicas que são guiadas pelo objetivo da ciência, que é escolhido por critérios extra lógicos; assim não há coerção lógica em aceitar essas regras, somente a decisão de escolher o objetivo, que é *aproximar da verdade*.

Esse objetivo deve-se à crença na razão, ao racionalismo que, por sua vez, deve estar ciente de suas limitações, assim deve ser autocrítico. A escolha do racionalismo autocrítico e, conseqüentemente, do método científico tal como Popper o descreve, é baseada em princípios morais, sobretudo o respeito à liberdade do homem, enquanto liberdade crítica, e à falibilidade da empreitada individual. O elemento do respeito à falibilidade individual é expresso pela divisa do *racionalismo crítico* e implica a possibilidade de crítica social intersubjetiva fundamentada em testes intersubjetivo, isto é, *objetividade*. A objetividade como a possibilidade de crítica intersubjetiva da teoria em questão é um elemento constituinte da ciência como uma empresa do racionalismo autocrítico e se coaduna com os elementos éticos de respeito à liberdade crítica.

A objetividade, por incluir a possibilidade de crítica baseada em testes da forma de refutações por *modus tollens*, tem sua função lógica, mas é uma exigência extra lógica. Lembremos que o irracionalismo não é logicamente insustentável (POPPER, 1987, p. 239), e a crítica, que pressupõe a objetividade, é uma escolha a qual estamos abertos a aceitar ou negar (POPPER, 1987, p. 246). Portanto, a exigência da objetividade (possibilidade de crítica intersubjetiva por meio de testes) tem aspecto lógico, por ter caráter de justificação de teorias, e moral, pois afeta nossa atitude para com outros homens.

Sobre isto, Parusnikova afirma que Popper propõe uma razão negativa, o racionalismo crítico. Para a comentadora, “não pode ser descrito como meramente uma promoção do criticismo, mas como um novo modelo de razão constituído pelo, e somente pelo, imperativo da falsificação” (PARUSNIKOVA, 2009, p. 38). A resposta de Popper ao problema de Hume, para assegurar a razão, é distinguir razão e justificação, assegurando a primeira e destituindo a segunda. Vê-se que, na visão do filósofo vienense, o justificacionismo, que busca uma

justificação definitiva, inerente ao racionalismo não crítico, transforma este tipo de racionalismo tradicional em um impostor (PARUSNIKOVA, 2009, p. 34), pois ao erigir um critério máximo de justificação que se impõe sobre os demais enunciados, tal critério se torna impervio a críticas, essas baseadas no próprio critério de justificação. Aceitar tal ou tal critério de justificação definitiva deve ser fruto de dogmatismo acrítico, pois o critério está acima de qualquer justificação e, conseqüentemente, pode ser comodamente alocado de maneira a salvar qualquer teoria do falseamento. O justificacionismo é incompatível com a razão. O racionalismo não crítico é incompatível com a razão. Se, como vimos, o irracionalismo é logicamente superior ao racionalismo não crítico, a crítica de Popper ao indutivismo, que é justificacionista e não crítico, é sua contribuição para assegurar o racionalismo.

Na visão de Popper, os problemas lógicos inerentes ao racionalismo não crítico enfraquecem a posição racionalista tão cara a Popper, tornando-a alvo fácil de ataques irracionistas. Parusnikova cita uma passagem em que Popper defende que o justificacionismo leva ao apelo a fontes autoritárias e últimas do verdadeiro conhecimento. Esta passagem é a primeira parte do argumento de Parusnikova de que o racionalismo de Popper não se compromete com defesas positivas de conjecturas (PARUSNIKOVA, 2009, p. 38), o que envolveria justificações, mas com a possibilidade de críticas através de testes. As “boas razões” para aceitar uma conjectura nunca é uma razão para supô-la definitivamente verdadeira (PARUSNIKOVA, 2009, p. 38).

O comentário acima de Parusnikova e aquele que aponta para o fato de que a simples promoção do criticismo não é a definição de racionalismo crítico, aponta que a crítica está posta como uma consequência do imperativo de falsificação. É sensível que, atrelar o racionalismo à possibilidade crítica, essa intersubjetiva, impõe ao racionalista a necessidade de objetividade, pois, para Popper, a objetividade “reside na circunstância de eles [enunciados científicos] poderem ser intersubjetivamente submetidos a testes” (POPPER, 2010a, p. 46). Porém, a objetividade não é dada a justificações por motivos lógicos. Como dito em *Sociedade Aberta e seus Inimigos*, o caráter intersubjetivo, portanto objetivo, da razão está claro na definição de racionalismo como “uma atitude de disposição a ouvir argumentos e a aprender da experiência” (POPPER, 1987, p. 232) e sua caracterização como fé pressuposta do racionalismo crítico; pois, como Popper escreve: “(...) nem o argumento lógico nem a

experiência podem estabelecer a atitude racionalista, pois somente aqueles que estão dispostos a considerar o argumento e a experiência, e que, portanto já adotaram a atitude, serão impressionados por eles” (POPPER, 1987, p. 238).

### 3. Esclarecimentos sobre o uso do conceito de metafísica

Popper utiliza o termo “Metafísico” de diferentes formas nos livros aqui considerados. Isto pode gerar confusões acerca da posição de Popper e fazê-lo parecer partidário de considerações metafísicas no interior do processo científico de corroboração e refutação de teoria, exatamente o oposto da posição que defende. Nessa penúltima seção irei esclarecer os usos que fazemos no decorrer da dissertação e justificá-los.

“Metafísico” é todo enunciado que não pode ser refutado. Isto é, Popper afirma que, pela forma lógica do enunciado empírico, ele deve ser refutável por *modus tollens*. Logo, todo enunciado que não é refutável dessa forma é metafísico. No interior do processo científico de testes, somente este tipo de enunciado pode ser aceito, tanto na teoria que está sob o jugo do teste, quanto nas hipóteses potencialmente falseadoras e corroboradoras. Fora os enunciados empíricos, todos são metafísicos. Fora aqueles com tal forma lógica, todos são metafísicos.

Popper também utiliza o termo sob o significado tradicional de metafísica, grosso modo, uma teoria necessariamente além do jugo da experiência. Cito a página quarenta do livro *Lógica da Pesquisa Científica*, em que Popper afirma que

Com efeito, é impossível negar que, a par de ideias metafísicas que dificultam o avanço da Ciência, têm surgido outras – tais como as relativas ao atomismo especulativo – que o favoreceram (POPPER, 2010a, p. 39-40).

Nessa citação, Popper está claramente utilizando o conceito tradicional, defendendo que tais teorias podem “inspirar” teorias eminentemente empíricas ou tornar-se elas mesmas empíricas posteriormente. Contudo, pelo método epistemológico dedutivo, Popper defende que a análise epistemológica parte da teoria científica já conjecturada e preocupa-se tão somente com a sua justificação a partir da possibilidade de refutação e do sucesso da teoria nos testes, mesmo as teorias metafísicas que favorecem o avanço da ciência estão fora do escopo da epistemologia. Além disso, tais teorias são metafísicas exatamente por serem imunes ao falseamento por *modus tollens*, pois

(...) talvez convenha mencionar (...) que não poucas doutrinas metafísicas – e, assim, certamente filosóficas – poderiam ser interpretadas como típicas formas de hipóstase de regras metodológicas (POPPER, 2010a, p. 58).

Partindo ainda do critério de empiricidade como sendo “ser suscetível de falseamento por *modus tollens*” as regras metodológicas não são enunciados empíricos. Lembremo-nos que as regras metodológicas são regras que “orientam o investigador em seu trabalho” (POPPER, 2010a, p. 63). Tais regras podem ser encaradas como versões de princípios metafísicos como, segundo Popper, o Princípio de Causalidade que, como argumenta o filósofo, *é não falseável* e pode ser excluído da esfera da ciência por ser metafísico. O princípio de que o investigador: “não [deve] abandonar a busca de leis universais e de um coerente sistema teórico, nem abandonar, jamais, nossas tentativas de explicar causalmente qualquer tipo de evento que possamos descrever”<sup>17</sup> é correspondente ao enunciado metafísico “todo e qualquer evento pode ser causalmente explicado – pode ser dedutivamente previsto”, o Princípio de Causalidade. Vê-se que nenhum desses enunciados é refutável por *modus tollens*, são ambos metafísicos. O primeiro – que claramente não pode ser refutado, digamos, pelo enunciado que afirma que algum cientista desistiu de buscar leis naturais ou mesmo que afirma que ignorar a busca por leis naturais se tornou hegemônica na prática científica – evita compromissos

---

<sup>17</sup> Na mesma página, Popper ainda afirma “Proporei, contudo, uma regra metodológica que corresponde tão proximamente ao ‘princípio de causalidade’ que este pode ser encarado como sua versão metafísica” (POPPER, K., 2010, p. 63).

metafísicos mais profundos, como a lei de causalidade, é uma substituição por um enunciado mais fraco, porém mesmo assim, metafísico.

(...) o requisito de objetividade científica também pode ser interpretado em termos de regras metodológica: regra segundo a qual só esses enunciados devem ser introduzidos em ciência, por serem intersubjetivamente passíveis de prova (POPPER, 2010a, p. 58).

A objetividade, que como vimos é correspondente à possibilidade de testes intersubjetivos das teorias, pode ser encarada como a regra metodológica de buscar enunciados empíricos e eliminar enunciados metafísicos do método científico de justificação, afinal, ser empírico é ser falseável por *modus tollens* e ser metafísico é não ser falseável por *modus tollens* e a única forma de realizar testes intersubjetivos é adotar enunciados suscetíveis de refutação por *modus tollens*, isto é, enunciados falseáveis, enunciados empíricos. Obviamente, assim como a *concessão ao irracionalismo* mencionada por Popper na obra *Sociedade Aberta e seus Inimigos*, a regra que reza a conduta do cientista de buscar testes intersubjetivos dos enunciados de sua teoria – isto é, de buscar enunciados empíricos – não é empírica e, portanto, tal regra é metafísica.

Como argumentamos no decorrer deste capítulo, a adoção dessas regras dependem da fé na razão que, por ser fé, é irracional. Assim, a decisão livre de adotar as regras defendidas por Popper dependem do objetivo almejado com a empresa científica, objetivo esse que é guiado pela fé na razão. Como são as regras metodológicas que viabilizam o empreendimento científico através da normatização do comportamento do cientista frente às teorias, para Popper, em suas próprias palavras:

Encarando a matéria do ponto de vista psicológico, inclino-me a pensar que as descobertas científicas não poderiam ser feitas sem fé em ideias de cunho puramente especulativo e, por vezes, assaz nebulosas, fé que, sob o ponto de



vista científico, é completamente destituída de base e, em tal medida, é “metafísica” (POPPER, 2010a, p. 40).

Essa afirmação marca em que medida a distinção entre psicologia e epistemologia põe de lados opostos da fronteira entre os enunciados metafísicos e os enunciados empíricos nas considerações popperianas acerca do processo científico. Mesmo aqueles enunciados metafísicos (não empíricos) que Popper entende como presentes como regras metodológicas, não estão sob o escrutínio da epistemologia, mas se configuram como pressupostos para que seu projeto epistemológico possa ser concretizado. Também as especulações metafísicas que fizeram parte da “inspiração” da construção de teorias científicas também não participam da epistemologia, pois não entram no processo de justificação da teoria, nem como teoria a ser julgada, nem como hipótese falseadora ou corroboradora. As condições para jogo da ciência, bem como suas regras, não são justificadas pelo próprio jogo da ciência, nem podem estar em seu interior, mas partem de decisões e crenças acerca dos objetivos do jogo, considerações anteriores à sua execução.

O objetivo de Popper é purgar as teorias científicas e os meios de testá-las, para encontrar os enunciados metafísicos que, como vimos, não podem justificar nem serem justificados através do método empírico. Contudo, para estabelecer as regras do jogo é preciso limitar o âmbito de consideração epistemológica do processo científico, estabelecido após a conjectura de uma teoria. O que “inspirou” o cientista que a conjecturou não é relevante para a epistemologia, pois não participa da justificação da teoria nem do processo de testes da mesma. Limitando o seu escopo, a epistemologia exclui de suas considerações as regras que regulam o comportamento daqueles que participam do jogo da ciência. As regras do jogo não são justificadas empiricamente.

#### **4. No que a crítica de Popper ao racionalismo não crítico toca sua crítica a Heisenberg? Uma visão preliminar**

Tendo em mente que Popper não procura uma justificação última para os enunciados básicos, nem tampouco para o método falseacionista proposto, procuraremos encontrar em sua crítica ao programa de Heisenberg os pontos em comum com a sua crítica ao racionalismo não crítico. A busca de destituir a metafísica de significado apelando para critérios de significação de conceitos físicos, baseados na possibilidade de observação experimental, e de se erigir os princípios físicos da mecânica quântica por meio de uma classificação e sintetização (HEISENBERG, 1949, p. 1) dos dados experimentais é compatível com o conceito que Popper forja de racionalismo não crítico e seria suscetível das críticas que o filósofo vienense faz.

O programa de Heisenberg como um programa indutivista - por não conseguir responder aos problemas de demarcação, de indução e da base empírica, solucionados pelo falseacionismo - torna-se alvo fácil do irracionalismo que o derrota “em seu próprio campo e com sua arma favorita” (POPPER, 1987, p. 239). As teses propostas por Heisenberg serão melhores explicadas posteriormente. Ressaltemos que o irracionalismo é, na visão de Popper, logicamente superior ao racionalismo não crítico.

Ao analisar as críticas de Popper ao programa de Heisenberg, veremos como que as diversas formas de atitude metafísica se apresentam na interpretação da incerteza das fórmulas de Heisenberg. Para Popper a própria motivação do programa epistemológico de Heisenberg: “afastar da teoria os não observáveis, [...] expurgar a teoria de elementos metafísicos” (POPPER, 2010a, p. 239); é equivocada, pois expurgar a teoria dos não observáveis pressupõe que o método epistemológico se cumpre na formação de teorias e busca justificar os enunciados anteriormente dos testes empíricos, o que já se coloca fora do escopo da epistemologia para Popper. Além disso, a queda da objetividade é assegurada no regime quântico para Heisenberg através de experimentos (HEISENBERG, 1949, p. 2). Segundo o filósofo, a metafísica somente pode ser extirpada do método científico, sem o risco de tornar o racionalismo logicamente fraco, respeitando a objetividade que garante a crítica e

o falseacionismo; objetividade essa pressuposta ao racionalismo, que não é consequência de argumentação, nem de experimentos.

Na apresentação do programa de Heisenberg, investigado através de leituras de seu livro *The Physical Concepts of Quantum Theory*, nos concentraremos em apresentá-lo como uma manifestação do *racionalismo não crítico*. Para tal, investigaremos as bases indutivistas e de crítica da linguagem sobre a qual o programa é sustentado e suas consequências, como o subjetivismo inerente à eliminação da objetividade. Procuraremos deixar claro que, não somente a epistemologia, mas o conceito de objetividade é considerado no pensamento de Heisenberg em posições diferente das posições que Popper os colocou.

Se, para Popper, a epistemologia é a análise das relações lógicas entre teoria e enunciados básicos, o que obviamente parte da teoria já conjecturada, para Heisenberg a eliminação dos problemas epistemológicos da mecânica quântica somente pode ser feita quando a análise dos limites conceituais possibilitar a eliminação das contradições entre teoria e experiência. Se, para Popper, o conceito de objetividade é um pressuposto do método científico e não pode ser refutado pela experiência, uma vez que não se trata de um enunciado falseável, mas de um pressuposto da falseabilidade, para Heisenberg, o formalismo teórico e a análise experimental não permitem a divisão do mundo entre sujeito e objeto. Em outras palavras, a objetividade é refutada por uma lei da natureza.

## Capítulo 2 - O programa de Heisenberg

### 1. A “influência” de Einstein: “é a teoria que decide o que nós podemos observar”

Jammer, em seu *The Philosophy of Quantum Mechanics*, ressalta que seria imprudente caracterizar a interpretação de Heisenberg como operacionalista, apesar de estratégias operacionalistas estarem presente em seus trabalhos, pois Heisenberg afirma que após Einstein ter dito em uma conversa pessoal “É a teoria que decide o que nós podemos observar. (...) Heisenberg sentia que a solução jazia neste enunciado” (JAMMER, 1974, p. 57). A questão é bastante complexa, pois o operacionalismo de Heisenberg, que coloca as relações de incerteza como o fundamento operacional da mecânica quântica (JAMMER, 1974, p. 59), foi influenciado pela forma pela qual Einstein criticou o pensamento de Heisenberg acerca das órbitas eletrônicas.

É interessante analisar a reconstrução da famosa conversa entre Heisenberg e Einstein na primavera de 1926, presente no livro *A Parte e o Todo*, quando Einstein o convidou para acompanhá-lo até sua casa após a palestra proferida por Heisenberg na Universidade de Berlin.

Na palestra, Heisenberg havia apresentado sua formulação da mecânica quântica, a mecânica matricial, na qual propõe substituir as considerações acerca da órbita dos elétrons nos átomos por considerações acerca das frequências e amplitudes associadas à intensidade, grandezas “diretamente” observáveis (HEISENBERG, 1996, p. 75). Sua proposta havia impressionado físicos como Wolfgang Pauli, enquanto Dirac, na Inglaterra, havia proposto, em linhas diferentes, baseado no trabalho de Heisenberg de 1925, um formalismo que alcançou resultados semelhantes. A estranheza de Einstein partiu do fato de que Heisenberg supõe a existência de elétrons nos átomos, mas não considerava suas órbitas, justificando essa atitude no fato de que as órbitas não são observáveis, embora a trajetória na câmara de nuvens seja observável. Tal justificativa, que se fundamenta na não observabilidade das órbitas eletrônicas nos átomos, surpreendeu Einstein, que, segundo Heisenberg, disse “Mas o senhor não acredita seriamente que só grandezas observáveis devem entrar numa teoria física, não é?”

A pergunta de Einstein espantou Heisenberg que pensava ter seguido o método que Einstein havia trilhado na Teoria da Relatividade.

O dissenso era acerca dos pressupostos necessários para se falar em “observação” que, segundo Einstein, eram pressupostos teóricos. Em resumo, a descrição do processo que leva do fenômeno até a consciência, passando pelo instrumental e pela forma que o instrumento lê o fenômeno e transmite a informação para o “observador” é complicada e envolve pressupostos teóricos, teorias naturais de como a natureza funciona. Dessa forma, “somente a teoria, ou seja, o conhecimento de leis naturais, nos permite que, partindo de impressões sensoriais, possamos deduzir os fenômenos subjacentes” (HEISENBERG, 1996, p. 79). Como exemplo, a própria teoria sugerida por Heisenberg na conferência, que pressupõe que toda transmissão da luz, desde o átomo em vibração até o espectroscópio, ou o olho, funciona de acordo com as leis de Maxwell. Segundo Einstein, esse fato contraria a máxima defendida por Heisenberg de que uma boa teoria deve basear-se somente em grandezas observáveis, pois, sendo da forma que Heisenberg concebeu a teoria, simplesmente aceitar as leis de Maxwell envolve mais do que “grandezas observáveis” e deveria, segundo o método alegado por Heisenberg, ser justificada. Ao invés disso, para Einstein, “É a teoria que decide o que podemos observar”, isso porque a observação e o trajeto que leva do fenômeno até a consciência pressupõe leis naturais. A “nova teoria” tem que conviver harmoniosamente com tais pressupostos da observação sob a pena de se tornar autocontraditória.

Heisenberg julgava que Einstein fosse um físico que tivesse se mantido sob forte influência do pensamento de Mach. A teoria da relatividade serviu-se fortemente dos conceitos machianos de que uma boa teoria não passa de “uma condensação de observações, de acordo com o princípio de economia de pensamento” (HEISENBERG, 1996, p. 79). Na época em que desenvolveu a teoria da relatividade restrita, 1905, Einstein realmente havia seguido por linhas operacionalistas, através das quais alcançou a revolucionária concepção de “dilatação do tempo”.

Questionado acerca da influência de Mach, Einstein critica tal linha, considerando-a simplista e atentando para as mesmas críticas lançadas anteriormente à teoria proposta por Heisenberg. O processo de aprendizado linguístico e conceitual do homem, descrito por Mach como a relação entre impressões sensoriais com conceitos que são correspondentes a elas,

desconsidera questões importantes acerca da “subjetividade” e “objetividade” do conceito formulado. Questões da forma “A ‘bola’ realmente existe”, que Mach considera sem relevância e até redutível às impressões sensoriais abarcadas pelo conceito, são entendidas por Einstein como sendo compostas por “possibilidades e expectativas futuras”, que marcam, assim, a “objetividade” do conceito.

Einstein considera enganosa a tentativa de eliminar, ou mesmo desconsiderar, a distinção entre “subjetivo” e “objetivo” através da redução à “observação”; como mencionado anteriormente na conversa, o conceito “observação” é complexo e envolve pressupostos teóricos. Um conceito, para Einstein, deve equilibrar os aspectos subjetivos e objetivos, isto é, não somente as impressões sensoriais, mas também as expectativas futuras e as teorias subjacentes à observação. Aplicando a crítica à teoria de Heisenberg, Einstein afirma que ele, quando trata da observação, comporta-se como se fosse possível e direto o uso da velha linguagem descritiva. Diante das dificuldades apontadas por Einstein, Heisenberg simplesmente afirma que ainda não se tem noção da linguagem que deve ser usada.

O que esta reconstrução parece sugerir é que a conversa com Einstein lançou dúvidas em Heisenberg a respeito do conceito de “observação”, indicando que a forma pela qual ocorre o processo de “observar” um fenômeno, sobretudo quando instrumentos estão envolvidos, pressupõe as teorias e a linguagem que tradicionalmente estão associadas aos instrumentos. Esta interpretação parece se fortalecer, levando em conta que no livro *The Physical Principles of Quantum Mechanics* os processos dos fenômenos, tais como são observados, são descritos ressaltando as teorias subjacentes nos instrumentos utilizados, como a teoria óptica clássica no famoso experimento do microscópio de raios gama (descrito neste capítulo). A ideia de uma limitação na observação talvez seja o ponto que Einstein introduziu no pensamento de Heisenberg.

Contudo, Einstein era um realista e nessa mesma conversa enfatizou a importância de se falar “no que a natureza realmente faz” de forma objetiva, consequência que não foi seguida no pensamento de Heisenberg, pois a limitação da observação limita também o que compreendemos da realidade. Por ora, podemos sugerir que a “influência” de Einstein se deu nesses termos: uma compreensão crítica do processo de observação e considerações acerca da relação entre linguagem, impressões sensoriais e expectativas futuras (lembrando que

Heisenberg limita através do princípio de incerteza as previsões possíveis no regime quântico quando duas variáveis conjugadas são consideradas). Ressalto novamente que a influência de Einstein não levou Heisenberg às mesmas conclusões, mas levou-o mesmo até conclusões opostas. Lembremo-nos do debate Einstein-Bohr que envolve o princípio de incerteza, no qual Einstein tenta provar a incompletude da mecânica quântica através da análise do argumento EPR<sup>18</sup>, que critica a aplicação do princípio de incerteza, aparentemente desenvolvido por Heisenberg sob a “influência” da conversa com Einstein.

Retomando o apontamento de Jammer, citemos a passagem completa.

De um lado ele [Heisenberg] encontrava um formalismo matemático da mecânica quântica muito bem sucedido para ser revogado e, de outro lado, ele observava um “caminho” das partículas na câmara de Wilson. Mas como ligá-los? Foi neste ponto que ele se lembrou de sua fala no Colóquio de Física de Berlin na primavera de 1926 e sua subsequente conversa com Einstein sobre o significado de “observação” em Física. Einstein havia dito “É a teoria que decide o que nós podemos observar”. Heisenberg agora sentia que a solução jazia neste enunciado (JAMMER, 1974, p. 57).

A solução encontrada anteriormente de desconsiderar a órbita eletrônica no átomo e supor como correspondente direto a amplitude e a frequência das emissões, que são observáveis, contraria o resultado corpuscular observado na câmara de nuvens, sendo necessário incluir considerações ondulatórias. Sugerimos que a conversa com Einstein foi valiosa para os futuros desenvolvimentos da teoria por Heisenberg por exigir que ele voltasse um passo e passasse a considerar as condições pela qual uma grandeza é observável e, sobretudo, a “lei da natureza” que a torna observável. Como afirma Jammer,

---

<sup>18</sup> “Em 1935, Einstein e dois colegas de Princeton, o ucraniano Boris Podolsky e o norte-americano Nathan Rosen, publicaram um trabalho no *Physical Review* que chacoalhou as bases da Mecânica Quântica.” (PESSOA, 2010, p. 205) Esse trabalho, que veremos de forma mais detalhada no terceiro capítulo, consiste em uma prova de que a teoria quântica é incompleta pela introdução da hipótese de localidade (que afirma que “a escolha sobre qual observável medir na Terra não pode afetar instantaneamente (ou com velocidade maior do que a da luz o estado da partícula) na Lua” (PESSOA, 2010, P. 205)).

Embora seja precipitado classificar Heisenberg como um operacionalista puro, por ele concordar completamente com Einstein de que o que é observado ou não é decidido em última instância pela teoria, seu artigo pode ser facilmente interpretado como uma tentativa de basear a mecânica quântica nas limitações operacionais da mensurabilidade (JAMMER, 1974, p. 58).

Tal situação em que temos, de um lado, seu acordo com Einstein e, de outro, sua “tentativa operacionalista” talvez não soe contraditório se supormos que, ao fundamentar a mecânica quântica nas limitações operacionais da mensurabilidade, Heisenberg inclui os conceitos da linguagem clássica que sofrem as limitações através das considerações acerca da mensuração experimental. Não se trata, portanto, de um operacionalismo simples e redutivo, mas de um operacionalismo que busca não somente a definição, mas a limitação dos conceitos presentes na física para que o cientista, ciente dessa limitação, possa construir sua teoria. Ressaltamos que a forma pela qual Heisenberg interpretou a interpelação de Einstein não coincide com a forma pela qual Einstein desenvolve essa questão dentro de seu pensamento.

## ***2. The Physical Principles of Quantum Mechanics***

O livro *The Physical Principles of Quantum Mechanics* pode ser lido como a tentativa de indicar as limitações dos diversos conceitos na mecânica quântica segundo a relação entre mensuração e observação. Os limites do conceito de observação são transmitidos pela perturbação inerente à mensuração as grandezas físicas, divididos entre corpusculares e ondulatórios, isto é, pertencentes ao modelo corpuscular e ondulatório da física clássica. Heisenberg pretende, com tal análise crítica dos conceitos físicos, levar em consideração a dessemelhança entre o mundo físico e o mundo da experiência cotidiana (HEISENBERG, 1949, p. 62), essa entendida como as dessemelhanças entre as aplicações dos conceitos nos objetos da física atômica e relativística (em especial da física atômica) e do mundo da experiência cotidiana.



O plano epistemológico para a avaliação da aplicação conceitual aos fenômenos quânticos relaciona a epistemologia à filosofia da linguagem para estabelecer o nexo semântico do termo às experiências verificáveis (HEISENBERG, 1949, p. 1). Os problemas epistemológicos surgem quando construímos uma teoria através da sintetização e classificação dos resultados experimentais, pela relação de causalidade. Nota-se o deslocamento dos problemas epistemológicos em relação à concepção de Popper.

Ainda outra questão surge quando Heisenberg relaciona epistemologia a problemas de linguagem<sup>19</sup>. Ao estabelecer os problemas epistemológicos como decorrentes de contradição entre a linguagem aplicada aos resultados experimentais, por um lado, e o processo de construção de teoria através de relações de causalidade, por outro lado – e apesar de relacionar, como Popper, epistemologia e teoria – à primeira atribui dependência de regras linguísticas. Posteriormente, Heisenberg esclarece que as contradições se dão por problemas relacionados à aplicabilidade de requisitos epistemológicos.

Com o advento da teoria da relatividade de Einstein, foi necessário pela primeira vez reconhecer que o mundo físico difere do mundo ideal concebido em termos da experiência cotidiana (HEISENBERG, 1949, p. 63).

Vê-se que segundo Heisenberg, os problemas concernentes à causalidade na mecânica quântica partem da dependência da lei de causalidade da linguagem na qual os experimentos são explicados. Defende assim que no regime quântico a causalidade não seja aplicada sem a devida orientação experimental, tal como o conceito de simultaneidade na teoria da relatividade. A solução ideal seria não permitir que “conceitos entrem na teoria que não sejam verificados com algum grau de acurácia” (HEISENBERG, 1949, p. 1), contudo, diante das *dificuldades insuperáveis*, é aconselhável “introduzir uma grande variedade de conceitos na teoria, sem tentar justificá-los rigorosamente, e então permitir que os experimentos decidam

---

<sup>19</sup> “Os Experimentos da física e seus resultados podem ser descritos na linguagem cotidiana. Assim, se o físico não exigir uma teoria para explicar seus resultados e pudesse estar contente, digamos, com uma descrição das linhas que surgem em uma placa fotográfica, tudo poderia ser simples e não haveria necessidade de uma discussão epistemológica” (HEISENBERG, 1949, p. 1 – grifo meu).

em quais pontos uma revisão é necessária” (HEISENBERG, 1949, p. 2). O plano é eliminar as contradições por meio de uma crítica que oriente a aplicação conceitual pela possibilidade de verificação experimental. Os experimentos apontarão os limites conceituais, tais limites de aplicação física coincidem com os limites de significação do conceito. Qualquer uso do conceito além daquele limitado pelo experimento torna-o sem-sentido.

Também a lei da causalidade, bem como a distinção entre observado e observador, sujeito e objeto, tem a sua aplicação limitada pela possibilidade de aplicação experimental. Isso traz ao centro de sua revisão o princípio de incerteza como o princípio que asseve uma interação inexorável do observador no objeto observado. A inaplicabilidade da lei de causalidade tal como aplicada na física clássica é ligada ao anuviamento do conceito de observável, embora o observador interaja com o objeto no regime quântico - o conceito tradicional de “observável” – a interação característica do regime quântico não oferece meios de distinguir o que é inerente ao próprio objeto e o que é inerente à observação. Consequentemente, a causalidade somente é possível em regimes em que a interação entre observador e observável é negligenciável, como na física clássica ou na física relativística.

Tais conceitos e leis epistemológicas são passíveis de crítica a partir de resultados experimentais. Schlick cita Heisenberg (SCHLICK, 1988, págs. 22-3), e defende que o físico alemão considera que a lei de causalidade é passível de refutação experimental. De maneira oposta a Heisenberg, Popper equivale a lei causalidade ao princípio que afirma que há leis naturais, assim não é um conceito passível de refutação, pois é a versão metafísica da regra metodológica de que “não devemos abandonar a busca de leis universais” (POPPER, 2010a, p. 63). Sendo uma regra metodológica, a causalidade está pressuposta na própria atividade científica. Também o conceito de objetividade, que pressupõe a distinção entre sujeito e objeto, é um conceito anterior à análise epistemológica, pois é uma condição para que essa seja realizada. Lembremo-nos que um enunciado somente é empírico (isto é, falseável) se for intersubjetivamente suscetível de teste, circunstância que caracteriza a objetividade<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> Schlick não defende a visão defendida por Heisenberg e, aparentemente, aproxima-se de Popper ao sugerir que a causalidade é uma prescrição para descobrir uma fórmula na qual “Todos os acontecimentos são, por princípio, passíveis de previsão”. Contudo, a oposição se dá posteriormente, quando afirma que o princípio de causalidade tem o mesmo sentido das demais leis da natureza: como uma indicação. Como é patente que as leis da natureza são criticáveis de acordo com os enunciados singulares, e se modificam com o tempo, o princípio de causalidade

A partir dessas considerações, percebemos como Popper e Heisenberg se opõem. Heisenberg encarna o princípio indutivista de que são os enunciados acerca da observação experimental aqueles que atribuem sentido aos conceitos científicos e mesmo aos princípios epistemológicos e, portanto, participam ativamente da formação da teoria. Sua crítica deve se reportar a esses enunciados singulares de observação experimental. De outro lado, Popper é opositor desse tipo de ideia e a combate a partir de uma visão dedutivista que, como vimos, não se preocupa com a formação da teoria, mas analisa suas relações lógicas com os enunciados básicos a partir de as teses teóricas já terem sido conjecturadas.

Também há de se ressaltar que a acusação última de Popper contra Heisenberg se reporta a considerações acerca da efetividade do indutivismo, caindo sob a categoria de racionalismo não crítico, para fazer frente ao irracionalismo. Popper vê as fraquezas lógicas do indutivismo – os problemas da base empírica, da indução e, sobretudo, da demarcação – como “munições” que podem servir aos inimigos da racionalidade (POPPER, 1987, p. 239). A forma chamada por Popper de não crítica de defender a razão, projeto que está bem explícito no manifesto positivista, não somente não é capaz de fazê-lo, mas também esconde enunciados potencialmente metafísicos, não necessariamente prejudiciais ao racionalismo. Poderíamos levar tais considerações adiante e perceber que os inimigos da racionalidade são os inimigos da sociedade aberta, assim sua crítica epistemológica ganha ares éticos.

### **3. O plano de fundo do programa de Heisenberg**

Rosenfeld (ROSENFELD *apud* WHEELER & ZUREK, 1983, p. 58) afirma que o problema que ensejou a interpretação da incerteza foi o problema das condições e limitações essenciais dos modelos ondulatórios e corpusculares. Heisenberg buscava, segundo Rosenfeld, a resposta a essa questão na análise detida da estrutura formal. Heisenberg haveria concebido que eram as possíveis limitações da observabilidade de cada fenômeno, analisadas segundo a

---

também o é, e não está acima do crivo da investigação epistemológica. Grosso modo, Schlick equivale o princípio de causalidade e as leis naturais, enquanto Popper salienta a distinção entre elas e aponta a anterioridade do princípio de causalidade (SCHLICK, 1988, p. 23).

estrutura formal das descrições de suas situações experimentais, que haveriam de estabelecer os fundamentos da mecânica quântica (p. 59). A argumentação de Heisenberg é baseada nas relações de incerteza (profundamente enraizadas na estrutura formal da mecânica quântica), apontando que elas sempre surgem quando duas variáveis conjugadas são submetidas a experimentos de mensuração.

Jammer ressalta a incompatibilidade dos resultados da câmara de Wilson - que exhibe uma trajetória para o elétron - e a impossibilidade de definir uma trajetória segundo a estrutura do formalismo matemático “muito bem sucedido para ser revogado” (JAMMER, 1974, p. 57) como o problema primordial para a formulação do princípio de incerteza. Inequivocamente, o tratamento operacionalista de Einstein do conceito de simultaneidade exhibe as linhas que Heisenberg percorreu para a resolução do problema. Problema esse, posto por Heisenberg, como “contradições entre teoria e experimento” (HEISENBERG, 1949, p. 1).

Jammer e Rosenfeld citam a questão posta por Einstein no Colóquio de Física de Berlin, na primavera de 1926, sobre o significado de observação em física. Como vimos, Einstein haveria dito a Heisenberg em conversa particular que “Somente a teoria pode decidir o que é e o que não é observável” (ROSENFELD *apud* WHEELER & ZUREK, 1983, p. 58; JAMMER, 1974, p. 57). Heisenberg teria levado tal máxima adiante e analisado a aplicabilidade de assunções tácitas, tal como a de que os sinais são propagados com velocidade infinita, que Einstein teria demonstrado ser inaplicável pela inexistência desse tipo de sinal na natureza segundo a teoria da relatividade. Os conceitos de “régua” (*measuring rod*) e “relógio”, pela relativização do conceito de simultaneidade, haveriam perdido aplicação tradicional (absoluta), dependente da assunção tácita.

Da mesma forma que tais conceitos foram submetidos a uma revisão completa através da teoria da relatividade, os problemas que Bohr e Heisenberg enfrentavam demandavam, segundo Heisenberg, que houvesse também na mecânica quântica uma revisão conceitual. Assim como a aplicação instrumental da “régua” e do “relógio”, bem como o termo “simultaneidade” sofreram com o escrutínio da análise teórica sob a luz da teoria da relatividade, os termos “coincidência espaço-temporal” e “observação” também têm seus significados restringidos pelos limites impostos pela teoria, à luz de experimentos que balizam a aplicabilidade do conceito.

A revisão dos conceitos acima, sobretudo de “observação”, deve partir da compreensão de que, diferentemente da situação da física clássica, a interação entre observador e observado causa mudanças consideráveis no sistema quântico. A assunção tácita, naqueles conceitos, de que é possível distinguir o mundo entre sujeito e objeto (HEISENBERG, 1949, p. 2), assim como a assunção de que há sinais que podem ser propagados com velocidade infinita, é eliminada pelo formalismo matemático, à luz de experimentos adequados. Como consequência da eliminação dessa assunção tácita pela compreensão de que “a observação causa mudanças incontroláveis no sistema observado” (HEISENBERG, 1949, p. 3), a observação de uma variável para quantificar sua grandeza torna o conhecimento preciso de outra variável cujo operador não comuta com a primeira impossível.

Esse limite inferior para a acurácia com que certas variáveis podem ser conhecidas simultaneamente pode ser postulado como uma *lei da natureza* (na forma das chamadas *relações de incerteza*) (HEISENBERG, 1949, p. 3).

Notemos que Heisenberg compreende como *lei da natureza* um princípio que contém afirmações acerca do conhecimento possível, isto é, do estado do observador.

#### **4. Limitações dos conceitos**

O programa de Heisenberg pretende; a) obter uma visão geral de todos os conceitos sugeridos pelos experimentos atômicos. Vê-se que são os experimentos que apresentam os conceitos que devem ser aceitos pela teoria; b) limitar o alcance da aplicação desses conceitos; c) mostrar que os conceitos devidamente limitados, juntamente com a formulação matemática da teoria quântica, formam um esquema autoconsistente (HEISENBERG, 1949, p. 4).

Os conceitos que são sugeridos pelos experimentos são aqueles presentes nas teorias clássicas, tanto a teoria ondulatória, quanto corpuscular. Afinal, como afirmado logo no início do livro *The Physical Principles of Quantum Theory*, “os experimentos são descritos através da linguagem cotidiana” (HEISENBERG, 1949, p.1). A linguagem clássica deve ser mantida. Ao apresentar as características da interpretação ortodoxa – desenvolvida por Bohr, Heisenberg, entre outros, sob o nome de Interpretação de Copenhague<sup>21</sup> – o professor Osvaldo Pessoa Jr. escreve que os adeptos dessa interpretação consideram que

(...) só temos acesso ao mundo microscópico através de aparelhos macroscópicos, e a descrição da aparelhagem experimental e dos resultados das medições só pode ser feita na linguagem da Física Clássica (PESSOA, 2010, p. 97).

Vemos que, já nesse ponto, questões de linguagem já estavam presentes na definição dos conceitos que devem entrar na teoria e diziam respeito à validade da aplicação do conceito. Somente devem entrar na teoria da mecânica quântica aqueles conceitos que se reportam aos resultados experimentais, aplicados aos aparelhos macroscópicos. Apesar da pretensão original desses conceitos de se considerarem descrições da realidade, no regime quântico, eles são usados somente para descrever os resultados experimentais, sem a pretensão de se referir aos objetos reais.

Os conceitos que Heisenberg se propõe a encontrar através dos experimentos são aqueles encontrados pela linguagem clássica, que descrevem a aparelhagem experimental. Heisenberg descreve os experimentos pelos quais os conceitos devem ser *induzidos* (HEISENBERG, 1949, p. 4).

A primeira característica atribuída à teoria da mecânica quântica, que está intimamente ligada à limitação conceitual, é a característica dualista entre onda e partícula de todos os objetos analisados no regime quântico. Heisenberg apresenta esse aspecto dos objetos

---

<sup>21</sup> Para uma visão crítica da relação entre o pensamento de Bohr e o que ficou conhecido como Interpretação de Copenhague vide HOWARD, D. – “Who Invented the Copenhagen Interpretation” – Department of Philosophy and Program in History and Philosophy of Sciences; University of Notre Dame, 2005.

atômicos através dos experimentos da câmara de Wilson e de experimentos com raios  $\beta$ , originados do decaimento radioativo da matéria. Uma série de experimentos com os raios  $\beta$  demonstrou que eles podem exibir padrões de interferência (típicos de ondas), embora tenham sido considerados como feixes corpusculares. Como a teoria permite o cálculo do comprimento de onda  $\lambda$  pela relação de de Broglie  $\lambda=h/mv$  (sendo  $h$  a constante de Planck,  $m$  a massa e  $v$  a velocidade), a experiência sugere que o fenômeno pode ser considerado como ondulatório.

De outro lado, a luz, tradicionalmente considerada como uma onda, apresenta comportamentos tipicamente atribuídos a corpúsculos<sup>22</sup>. A dispersão originada na colisão do fóton com elétrons permite que o momento do fóton “corpúsculo da luz” seja calculado segundo a relação  $p=h/\lambda$  (em que  $p$  é o momento,  $h$  a constante de Planck e  $\lambda$  o comprimento de onda).

Para Heisenberg, esses resultados experimentais impõem aos modelos tradicionais uma dualidade inerente aos processos, tanto aqueles tradicionalmente descritos como corpusculares, como os processos materiais, quanto aqueles tradicionalmente descritos como processos ondulatórios, como a luz. Tais processos exigem que ambos os modelos sejam aplicados ao objeto quântico, contudo “é óbvio que a coisa não pode ser uma forma de onda e composta de corpúsculos ao mesmo tempo – os dois conceitos são muito diferentes” (HEISENBERG, 1949, p. 10). Como a suposição de que haja duas entidades, uma corpuscular e uma ondulatória, não é passível de evidência experimental, tal teoria não é viável, a solução é utilizar as duas imagens (ondulatória e corpuscular) e compreendê-las como incompletas, mas complementares, com valor apenas de analogia (HEISENBERG, 1949, p. 10).

Nessas impressões preliminares, fica patente que a teoria é levada tão somente como decorrência da experiência e seu valor como analogia é contraposto à pretensão de realismo das teorias científicas. Afinal, a suposição de um “dualismo realista” é considerada inviável pela impossibilidade de verificação experimental. Tal posição de Heisenberg pode ser caracterizada como frontalmente oposta a concepção de Popper em um duplo aspecto. De um lado, a concepção realista é intrinsecamente ligada à ciência para Popper. Ela está presente na

---

<sup>22</sup> Utilizamos a palavra corpúsculo, em vez de partícula, para não haver confusão entre o sentido físico e o sentido lógico da palavra.

máxima já citada nesta dissertação “Posso estar errado e podeis estar certo, por um esforço poderemos chegar mais perto da verdade” (POPPER, 1987, p. 246), verdade essa objetiva e presente no mundo real. De outro, também presente no livro *A Sociedade Aberta e seus Inimigos*, mas mais desenvolvida posteriormente, o realismo é considerado como uma tese que “não é demonstrável nem refutável” (POPPER – 2010b – p. 217), tratando-se de uma tese metafísica (POPPER – 2010b – p. 217-8). Assim, as *leis naturais* não podem dizer respeito à sua validade.

Heisenberg impõe à tese realista o crivo da crítica experimental e considera-a inadequada. O motivo da inadequação para Heisenberg é a limitação da linguagem, imposta pela origem perceptual. Heisenberg considera a linguagem uma invenção que, como foi desenvolvida segundo as necessidades das experiências cotidianas (HEISENBERG, 1949, p. 11) do regime macroscópico, é inadequada para compreender os fenômenos quânticos microscópicos. Duas considerações são realizadas para conceber a possibilidade de superação desse problema: a- a matemática não é limitada pelas imagens mentais derivadas da experiência, formando uma base para a análise experimental<sup>23</sup>. e; b- os modelos corpuscular e ondulatório, considerados como simples analogias, podem evidenciar as limitações dos conceitos: o modelo ondulatório evidencia as limitações dos conceitos corpusculares e vice-versa.

Heisenberg afirma que - assim como Bohr derivou dessa base (comparação entre os modelos corpusculares e ondulatórios), uma forma simples da relação de incerteza entre momentum e partícula – podemos derivar as limitações dos conceitos presentes na teoria quântica pela observação experimental identificando os limites dos conceitos do modelo ondulatório e corpuscular pela comparação entre os modelos (HEISENBERG, 1949, p. 11-2). Isso significa que as relações de incerteza são a marca da dualidade onda-partícula e das limitações linguísticas que exigem que o objeto físico seja analisado através dos dois modelos, mutuamente excludentes, porém complementares. O plano toma a forma acabada, Heisenberg pretende, com a análise dos experimentos, evidenciar que pelo formalismo matemático é

---

<sup>23</sup> Sobre a limitação da linguagem, Heisenberg se aproxima fortemente do pensamento de Schlick, que afirma que “O mais variegado reino das fadas das mil e uma noites é formado exclusivamente com as pedras do mundo da vida diária, através de combinações bem insignificantes do material conhecido” (SCHLICK, M., 1988, p. 3).



possível atribuir relações de incertezas aos pares de grandezas conjugadas, como momentum e posição, e, energia e tempo.

## 5. Experimentação e linguagem na indução do princípio de incerteza

### 5.1 Fórmula de Heisenberg como limite de aplicação de conceitos clássicos

Como os conceitos ligados aos corpúsculos, como posição, receberam o seu significado no mundo dos objetos macroscópicos, sua transposição para o mundo microscópico, para o regime quântico, é possível somente dentro de um limite. A sentença, experimentalmente fundamentada, de que a posição de um elétron pode ser conhecida somente dentro de um grau de acurácia  $\Delta x$  no tempo  $t$  pode ser visualizada pela imagem do pacote de ondas, que apresenta matematicamente uma onda com amplitude bem diferente de zero em uma dada região limitada. Como a velocidade do elétron é correspondente à velocidade do pacote de ondas, e esse é disperso, ela não pode ser bem definida.

Definindo o momentum como  $p_x = \mu v_x$  (em que  $\mu$  é a massa do elétron e  $v$  é o componente de velocidade). Tal incerteza na velocidade causa uma incerteza em  $p_x$  na ordem de  $\Delta p_x$ ; das mais simples leis da ótica, juntamente a lei empiricamente estabelecida  $\lambda = h/p$ , pode facilmente ser demonstrado que

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h. \text{ (HEISENBERG, 1949, p. 14)}$$

Vemos, assim, que o fundamento da famosa fórmula de indeterminação é o formalismo óptico estabelecido e o dado empírico, as leis dele derivadas, como a relação de de Broglie ( $\lambda = h/p$ ). A indeterminação da posição e do momentum talvez possa ser lida, por essas linhas, como sendo o índice de limitação dos conceitos corpusculares. Essa indeterminação é atribuída, segundo Heisenberg, como sendo uma característica essencial do elétron

(HEISENBERG, 1949, p. 14). Contudo, pelo que foi apresentado anteriormente, é patente que a forma pela qual a indeterminação é atribuída é o resultado da incompatibilidade da linguagem, presa ao mundo clássico macroscópico, e do mundo do regime quântico, que apresenta esse tipo de indeterminação ao ser lido através da linguagem clássica. Tal situação é inescapável.

O físico alemão considera a própria dualidade onda-partícula, parte essencial do desenvolvimento da mecânica quântica, como uma “dualidade aparente surg[ida] nas limitações de nossa linguagem” (HEISENBERG, 1949, p. 10). No parágrafo seguinte aprofunda a análise da questão da linguagem na mecânica quântica e acrescenta “não é surpreendente que nossa linguagem seja incapaz de descrever os processos ocorridos dentro do átomo” (HEISENBERG, 1949, p. 11). A responsabilidade por esse hiato entre a linguagem e o fenômeno quântico, segundo Heisenberg, é o fato de que a linguagem “foi inventada para descrever as experiências da vida cotidiana, e estas consistem somente de processos envolvendo um enorme número de átomos” (HEISENBERG, 1949, p. 11). O fato complicador na atividade do físico quântico está exposto já na primeira frase do livro “os experimentos da física e seus resultados devem ser descritos na linguagem cotidiana” (HEISENBERG, 1949, p. 1). Temos, portanto, que a linguagem cotidiana é intrinsecamente incapaz de descrever os fenômenos quânticos, porém que os experimentos e os resultados devem ser descritos pela linguagem cotidiana. Como consequência dessa situação, temos que o máximo que a linguagem pode fornecer à visualização do fenômeno são duas analogias incompletas, a corpuscular e a ondulatória (HEISENBERG, 1949, p. 11). Tal descrição do fenômeno quântico é limitada pela linguagem, parametrada pelos limites impostos por suas características, porém, é necessária, dada a origem dos conceitos e seu uso inevitável aos experimentos e resultados experimentais.

A fórmula de Heisenberg é tida como o limite da aplicação da imagem corpuscular, imagem essa construída através de conceitos clássicos. Como se trata de uma limitação no uso da linguagem própria do modelo corpuscular “qualquer uso das palavras ‘posição’ e ‘velocidade’ com acurácia excedente daquela dada pela equação  $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$  é tão sem sentido quanto o uso de palavras que não são definidas” (HEISENBERG, 1949, p. 15). A fórmula assevera uma situação linguística, relacionada ao limite da linguagem clássica, no caso dos

limites de posição e velocidade, limites da imagem corpuscular. Heisenberg, assim, aponta para a situação de que a mecânica quântica não trata do mundo real, independente de nossa ação, mas da imagem do mundo segundo determinações linguísticas. Embora aceite que sentenças sem consequências (sem conteúdo) sejam permitidas na linguagem, declara que palavras como “realidade”, que frequentemente leva a sentenças desse tipo, devem ser usadas com bastante cautela (HEISENBERG, 1949, p. 15).

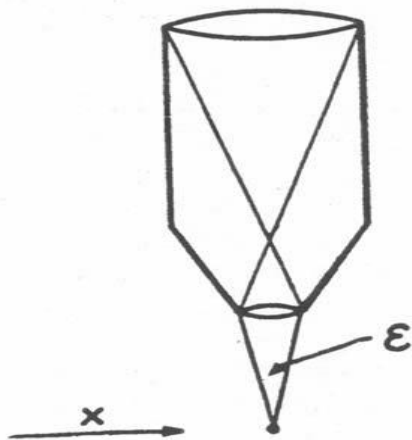
É assim que se desenha o significado da fórmula de indeterminação de Heisenberg como uma asserção sobre os limites dos conceitos próprios dos modelos clássicos.

## **5.2 Fórmula de Heisenberg e limite do conhecimento**

Como Heisenberg desconfia do uso da palavra realidade, o princípio de incerteza se refere ao conhecimento presente possível dos valores de duas grandezas simultaneamente. Pela fórmula de Heisenberg  $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$  o conhecimento da posição do elétron tornará o conhecimento de sua velocidade desconhecido. A partir do conhecimento preciso da posição do elétron pela medição experimental, seu momentum em uma medição subsequente se tornará completamente desconhecido. Diz respeito, portanto, ao conhecimento futuro, não se refere ao passado do elétron. Como o passado do elétron não pode ser submetido à verificação experimental (HEISENBERG, 1949, p. 21), é de caráter puramente especulativo, “sua realidade física é questão de crença pessoal” (HEISENBERG, 1949, p. 20).

Heisenberg descreve um experimento imaginário para demonstrar “a destruição do conhecimento do momentum da partícula por um aparato para determinar sua posição” (HEISENBERG, 1949, p. 20), o experimento do microscópio de raios  $\gamma$ .

Um microscópio é utilizado para medir a posição de um elétron livre  $x$ . Para tal, utilizamos um feixe de raios  $\gamma$  que incide no plano do objeto.<sup>24</sup>



$\varepsilon$  é o ângulo subentendido pela lente.

[Reprodução da página 21 de HEISENBERG, W. – *Physical Principles of Quantum Theory*: Dover Publishers; Estados Unidos: 1945 – p. 21]

I- De acordo com as leis da ótica e segundo o poder de resolução do aparelho, a imprecisão da medida de posição é  $\delta x = \lambda / \text{sen} \varepsilon$ . Quanto menor for o comprimento de onda  $\lambda$  do raio incidente, menor é a imprecisão  $\delta x$ .

II- Para efetuar a medição, um fóton deve ser espalhado pelo elétron. Pelo chamado efeito Compton<sup>25</sup> o fóton transfere para o elétron um momentum da ordem  $h/\lambda$  (em que  $h$  é a constante de Planck).

III- O recuo é indeterminado dentro do ângulo  $\varepsilon$  subentendido pela lente do microscópio, sendo assim, o a imprecisão do momentum do elétron é  $\delta p_x = (h/\lambda) \text{sen} \varepsilon$ .

<sup>24</sup> Segui a descrição do experimento presente no livro (HEISENBERG, W. – *Physical Principles of Quantum Theory*: Dover Publishers; Estados Unidos: 1945- p.21), no artigo (CHIBENI, S. S., 2005, p. 184) e no livro de Osvaldo Pessoa Jr.(PESSOA, 2010, p. 76-7), que apresenta o experimento de forma ligeiramente diferente. Aproveito a oportunidade para agradecer ao professor Osvaldo Pessoa Jr. pelos diversos esclarecimentos que me proporcionaram quando assisti às suas aulas, em especial acerca dessa questão.

<sup>25</sup> Fenômeno que consiste na redução de energia de fótons de alta energia e no subsequente desvio angular de suas trajetórias, ao serem espalhados por elétrons livres que absorvem esta energia. – *Dicionário Houaiss de Física*. Org RODITI, 2005 – verbete *Efeito Compton*.

IV- Sendo a imprecisão da posição  $\delta x = \lambda / \text{sen}\epsilon$  e do momentum do elétron  $\delta p_x = h / \lambda (\text{sen}\epsilon)$ , essas grandezas satisfazem a relação  $\delta x \cdot \delta p_x = h$ .

Segundo Heisenberg, seu experimento conclui que não é possível realizar uma observação experimental na qual a imprecisão da medida simultânea de duas grandezas como posição e momentum seja menor do que  $h$ . Daí, conclui-se que supor a existência de uma posição e um momentum bem definidos no objeto não tem significado.

Oswaldo Pessoa Jr. oferece uma boa visão de como o pressuposto positivista é inerente à dedução da fórmula de Heisenberg. Segundo Pessoa, Heisenberg parte de uma pressuposição epistemológica, “semiclássica”, supondo que, após a interação do fóton com o elétron (ponto II), o elétron tem posição e momentum bem definidos, porém desconhecidos. Contudo, após demonstrar a impossibilidade de medir valores exatos para essas duas grandezas simultaneamente, conclui que o elétron não tem as duas grandezas bem definidas. Tal passagem apenas pode ser efetuada segundo o critério positivista que afirma que somente o que pode ser observado tem realidade (PESSOA, 2010, 78).

Chibeni também aponta para o positivismo inerente à conclusão de Heisenberg, o comentador afirma que “a interpretação operacionalista estava naturalmente associada à perspectiva filosófica positivista que dominou o cenário intelectual da primeira metade do século XX” (CHIBENI, 2005, p. 183). A interpretação operacionalista é exposta pelo deslocamento da justificação da lei física (no caso o Princípio de Incerteza) da descrição objetiva e real do objeto para consideração acerca da possibilidade de determinação experimental. Ao supor que o elétron tem posição e momentum bem definidos após a medição (situação que conflita com o Princípio de Incerteza) e asserir posteriormente que, pela teoria quântica, não é possível determinar as duas grandezas simultaneamente com precisão maior do que  $h$  ( $\delta x \cdot \delta p_x = h$ ), o princípio deve ser compreendido como dizendo respeito ao que podemos conhecer do estado do sistema quântico, não como o sistema quântico é de fato.

A questão passa a ser a possibilidade de especificação de uma operação que possibilite a medição, isto é, passa a ser uma questão operacional. Em um artigo anterior, de 1927, Heisenberg afirma que para alguém definir o que se entende por “‘posição de um objeto’ é necessário especificar os experimentos com os quais planeja medir a ‘posição de um objeto’

de outro modo essas palavras não teriam significado” (HEISENBERG, 1983, p. 64). A possibilidade de apresentar uma operação que permita a medição das grandezas referentes aos conceitos físicos é, para Heisenberg, o critério de significação desses conceitos. Como o experimento não permite que posição e momentum sejam medidos com precisão, a fórmula que asseve o limite da precisão ( $\delta x \cdot \delta p_x = h$ ) asseve o limite de uso desses conceitos. Tais conceitos apenas têm significado dentro do limite asserido por essa fórmula. Segundo Jammer, o artigo “The Physical Content of Quantum Kinematics and Mechanics” de Heisenberg é uma “tentativa de basear a mecânica quântica nos limites operacionais da mensuração” (JAMMER, 1974, p. 58).

Conhecer uma grandeza é conhecer como verificá-la experimentalmente. O Princípio da Incerteza apresenta o limite da possibilidade de verificação experimental, o limite do conhecimento de uma grandeza.

Das duas seções precedentes, compreendemos como a fórmula de indeterminação, interpretada sob o Princípio de Incerteza, é caracterizada como consequência da inaplicabilidade da linguagem clássica e de seus conceitos e como asseve a limitação da verificação experimental que, por sua vez, serve a Heisenberg como critério de significação. Parafrazeando Jammer, podemos considerar o livro *The Physical Principles of the Quantum Theory* como uma tentativa de basear a mecânica quântica nos limites operacionais da mensuração dos conceitos físicos originados na Física Clássica. Para Heisenberg, em mecânica quântica somente o que pode ser experimentalmente verificado tem significado, sendo todos os conceitos que não o podem, sem significado. Poderíamos interpretar essa constatação como uma manifestação, via positivismo lógico, da máxima de Wittgenstein “Os limites da minha linguagem denotam os limites do meu mundo” (WITTGENSTEIN, 1993, p. 245) No caso de Heisenberg, “Os limites dos conceitos dos modelos da Física Clássica denotam os limites do mundo quântico”?

### 5.3. A intromissão do observador pelo princípio da incerteza

Com o advento da mecânica quântica, as novas técnicas experimentais impuseram uma revisão dos conceitos clássicos, que foram forjados pelas experiências cotidianas. Juntamente com eles, as ideias abstratas como causalidade e “cisão entre sujeito e objeto”, que são derivadas de sua aplicação também merecem revisão. O plano epistemológico é desenvolver as linhas dessa revisão pela observação do princípio de incerteza.

Jammer lembra que, para muitos, o princípio de incerteza foi considerado como sinônimo da Interpretação da Complementaridade de Bohr<sup>26</sup>. Independente se isso é correto ou não – aceitamos o argumento de Jammer contra essa ideia – o Princípio de Incerteza foi apresentado por Heisenberg no livro de 1930, *Physical Principles of Quantum Mechanics*, pelas linhas da complementaridade, isto é, considerou que as imagens corpuscular e ondulatória da física clássica são complementares para a descrição do fenômeno quântico e, mais do que isso, que não são superáveis. Isso significa que a crítica da linguagem clássica estava subjacente ao Princípio de Incerteza para Heisenberg, afinal considera que ele assevera que o princípio apresenta os limites do conhecimento possível através dos conceitos clássicos, ondulatórios e corpusculares. Assim, a descrição através dessas linhas, da interpretação da Complementaridade, é completa e nenhuma mudança estrutural é possível, pois ela apresenta o limite do uso da única linguagem possível na descrição dos fenômenos quânticos, a linguagem clássica.

As imagens ondulatórias e corpusculares possuem a mesma validade aproximada (HEISENBERG, 1949, p. 64), apesar de serem incompatíveis. Heisenberg considera tal indeterminação como resultante da indeterminação do conceito de observação. O que os experimentos comentados no livro sugerem, como o experimento do microscópio de raios  $\gamma$ , é

---

<sup>26</sup> “É verdade, os termos Complementaridade e Indeterminação de Heisenberg foram frequentemente considerados sinônimos. Assim, por exemplo, Serber e Townes, em um artigo lido no simpósio de eletrônica quântica de Nova Iorque de 1960, falou sobre ‘os limites da amplificação eletromagnética devido à complementaridade’ quando eles se referiram às relações de indeterminação entre a fase  $\phi$  e o número de fótons  $n$  em uma onda eletromagnética, que é a relação  $\Delta\phi.\Delta n \geq 1/2$  que determina o limite do desempenho de um amplificador maser” (JAMMER, 1974, p. 60). Jammer também cita Vladimir Alexander Fock como partidário dessa visão. Jammer, contudo, discorda dessa leitura, pelo simples fato de considerar que as relações de indeterminação são derivadas do formalismo matemático, não sendo questão de interpretação (p. 60).

que não é possível distinguir no fenômeno o que é observação do objeto e o que é aparato de observação. Esse fato experimental demonstra, segundo Heisenberg, que a observação pertence àqueles conceitos obtidos pela experiência cotidiana e, assim, somente deve ser considerada no regime quântico com a devida observação de suas limitações pelo princípio da incerteza (HEISENBERG, 1949, p. 64). A separação entre sujeito e objeto, que era possível através da clara distinção entre objeto observado e aparato observador, deve ser revista, pois, segundo Heisenberg, fomos compelidos pelo refinamento experimental a questioná-la e, pela análise experimental, estabelecer os limites do conhecimento possível pela crítica do significado dos conceitos físicos. O observador deve sempre ser considerado nas descrições dos fenômenos quânticos.

## 6. O espectro de Copenhague

A ideia de uma interpretação hegemônica na mecânica quântica fez com que as idiosincrasias e até as oposições entre os adeptos da Interpretação da Complementaridade fossem reduzidas e até ignoradas. Recentemente, vários estudiosos discutem se houve realmente uma interpretação que uniu Heisenberg, Bohr, Born e outros grandes fundadores da teoria quântica. Surpreendentemente, alguns chegaram à compreensão de que os conflitos eram maiores que os acordos. Relevante para esse trabalho é a atuação de Heisenberg na construção da ideia, ou ideal, de uma Interpretação de Copenhague.

Howard afirma que o primeiro a utilizar o termo “Interpretação de Copenhague” foi o próprio Heisenberg em 1955 (HOWARD, 2004, p. 12). Segundo o comentador, a caracterização de Heisenberg dessa interpretação é em parte “uma apresentação de algumas sutilezas da interpretação da complementaridade de Bohr e, em parte, uma insinuação de suas [Heisenberg] próprias visões”. Caracterização descrita por Howard como um *mito pós-guerra*.

A caracterização de Heisenberg empresta à interpretação de Copenhague um sabor subjetivista, por atribuir ao conhecimento do observador um papel privilegiado e concluir que a realidade objetiva não tem “significado imediato”. O que impede o “significado imediato”



da realidade objetiva é influência do conhecimento do observador no resultado experimental. Físicos próximos do empirismo lógico, como Philipp Frank e Pascual Jordan, citaram Heisenberg para argumentar em favor da reivindicação do papel positivista da verificação e do repúdio às questões sobre realidade atômica (HOWARD, 2004, p. 14). Jordan, descrito por Howard como “grande propagandista em favor da epistemologia positivista”, defende que o suporte mais significativa dessa epistemologia é a visão de Heisenberg e Bohr. Howard afirma que a questão apontada por Jordan para defender esse ponto é que “‘o ato de observação é o que primeiro cria a definição’ em uma grandeza observável, do que se segue um ‘repúdio radical’ da ‘representação clássica da realidade’” (HOWARD, 2004, p. 14) Vale ressaltar que essa posição é mais defendida por Heisenberg, não por Bohr. Lembremo-nos ainda que essa posição não deve ser atribuída a uma adesão simples ao positivismo, mas uma proximidade entre o operacionalismo de Heisenberg, que envolve uma crítica ao papel da observação devida à concordância com a anterioridade da teoria (“influência” de Einstein), e alguns procedimentos positivistas, como certo verificacionismo na investigação acerca da limitação do conceito.

Talvez devamos aceitar, assim como aceita Howard, que havia uma tentativa de atribuir aos supostos adeptos da Interpretação de Copenhague a filosofia positivista, uma atribuição retórica para fortalecer a posição positivista através do sucesso daquela interpretação que viria a ser a interpretação hegemônica da teoria quântica. Duas formas de atribuição indevida foram lançadas: de um lado; estender o pensamento de Heisenberg a Bohr, procedimento fomentado pelas afirmações do próprio Heisenberg; de outro, igualar o operacionalismo de Heisenberg ao positivismo defendido, nesse caso, por Jordan. Lembremo-nos ainda que, apesar da clara simpatia de Schlick por Heisenberg (e Bohr), no artigo “A Causalidade na Física Moderna”, Schlick não defende a posição por ele atribuída a Heisenberg.

Como conclusão, Howard aponta como ponto pacífico entre os alegados membros da Interpretação de Copenhague a defesa da teoria quântica como uma teoria completa, precisamente o ponto atacado por Einstein, sobretudo no argumento EPR. Os críticos da “ortodoxia” de Copenhague, como Popper, atacam, especialmente, o subjetivismo latente

dessa posição, que está inequivocamente presente em Heisenberg, e, ao menos discutivelmente, em Bohr<sup>27</sup>.

Outro artigo relevante é “The Rhetoric of Antirealism and the Copenhagen Spirit” de Mara Beller. Nesse artigo, Beller ressalta o aspecto defensivo de apropriações, mesmo de Bohr, de procedimentos positivistas. A comentadora classifica o uso desses procedimentos positivistas, sobretudo aqueles que apontam para o antirrealismo, como uma “concessão relutante” (BELLER, 1996 p. 186) frente aos ataques daqueles que discordavam da completude da teoria quântica, como Schrodinger e Einstein. O antirrealismo dos supostos adeptos do espírito de Copenhague é comparado pela comentadora à estratégia de Osiander no prefácio do *De Revolutionibus* de Copérnico (BELLER, 1996 p. 187).

Beller cita Von Weizsäcker, que aponta as diferenças entre os pensamentos de Bohr e Heisenberg, enquanto para Bohr, somente os conceitos clássicos são intuitivos e, portanto, reais e por isso somente esses enunciados podem garantir o realismo na comunicação na teoria quântica, para Heisenberg, a necessidade da linguagem clássica recai sobre uma limitação da linguagem humana, inexoravelmente ligada ao senso comum e as apreensões sensíveis. Para Heisenberg, como vimos acima, os conceitos clássicos são sempre “vagos e imprecisos”, pois são frutos de nossa interação com o mundo macroscópico que, por sua vez, são para o físico alemão apenas uma “aproximação” (BELLER, 1996 p. 193).

Talvez aqui se sinta o alcance da conversa com Einstein. Einstein descreve o caráter psicológico e sensorial do aprendizado da linguagem, segundo Mach, e prossegue criticando essa posição apontando que a afirmação de que algo “é real” é diferente da afirmação de que “tenho a impressão de” algo. Einstein, assim, reafirma o papel do realismo na física. Contudo, Einstein não nega por completo, segundo a reconstrução da conversa feita por Heisenberg, o pensamento de Mach, afirmando que realmente há o aspecto “machiano” no aprendizado linguístico, esse é inclusive o mecanismo inicial de aprendizagem, embora esse aspecto não seja o único e não reduza o que é “realidade” e muito menos exclui o objetivismo. Lembrando

---

<sup>27</sup> A nossa última observação se deve ao trabalho de Mara Beller (1996, pág.: 183) “... diferentes estudiosos, com boas evidências textuais, têm provido interpretações conflituosas desses trabalhos [de Bohr]: enquanto Popper apresenta Bohr como um “subjetivista”, Feyerabend encontra nele um “objetivista; mais recentemente Murdoch concluiu que Bohr era um realista, enquanto Faye argumentou com igual competência que Bohr era um antirrealista”.

o argumento exposto no início deste capítulo, Einstein aponta que, na afirmação de realidade e objetividade de um objeto, está pressuposta a expectativa futura. Ora, na crítica de Heisenberg aos conceitos clássicos, ele afirma que tais conceitos são inerentemente ligados às impressões sensíveis do mundo macroscópico. Contudo, ao afirmar que tais conceitos não podem abarcar precisamente os fenômenos quânticos, ele afirma a limitação desses conceitos baseado no princípio de incerteza, que versa sobre a impossibilidade de uma previsão precisa do estado do sistema dependendo da grandeza mensurada. Levando em consideração que o princípio de incerteza influencia na compreensão do estado futuro do sistema, a limitação conceitual proposta por Heisenberg aponta exatamente o aspecto que Einstein afirma como divisor entre “realidade” e “impressões sensíveis” na crítica a Mach, entre objetividade e subjetividade.

Heisenberg, porém, não crê na possibilidade de superação dos conceitos clássicos, pois eles são inerentes à percepção cotidiana do mundo e descrevem o instrumento de mensuração usado no experimento. O mundo macroscópico seria, portanto, uma aproximação do fenômeno limitada pela linguagem, enquanto o mundo quântico é a “realidade”, inacessível à linguagem, mas compreensível através do uso complementar das imagens corpusculares e ondulatórias da Física Clássica. Heisenberg não equiva realidade à descrição de impressões sensíveis, como Mach, mas, pelo contrário, assim como descreve o pensamento de Einstein na ocasião da conversa, distingue a realidade da impressão sensível baseando-se na expectativa futura: no caso de Heisenberg, na previsão do futuro do sistema quântico. É essa impossibilidade de previsão exata que destaca o anuviamento dos conceitos clássicos de objetividade e subjetividade e, portanto, que assinala o aspecto subjetivista da teoria de Heisenberg, a intromissão do observador.

Para Heisenberg, não é o caso de que não haja uma realidade, mas nossos conceitos não a alcançam. Por outro lado, a realidade física, aquilo do que tratam as teorias físicas, é o mundo descrito pelos conceitos da teoria física, limitados experimentalmente. Portanto, tudo o que escapa desses limites experimentais não tem realidade física para Heisenberg. Trata-se de uma cisão entre o realismo ontológico, que Heisenberg não trata na obra *Physical Principles of Quantum Mechanics* de 1930, e o realismo epistemológico, que Heisenberg limita segundo os limites experimentais dos conceitos. A teoria quântica amplia a possibilidade de descrição

da realidade ao máximo ao apontar as limitações dos conceitos da física clássica e ao ligá-los através do respeito às limitações apontadas pelo Princípio de Incerteza para que formem um todo coerente. A realidade física é limitada por nosso conhecimento, que é limitado pelo alcance reduzido de nossos conceitos. A instância da observação deve ser analisada para que haja a máxima clareza possível da imagem que permeia a observação (se é corpuscular ou ondulatória), isto é, da teoria que permite tal observação. No regime quântico, no qual os processos instrumentais de observação interferem diretamente na entidade observada, a teoria que explica o processo de observação deve ser devidamente esclarecida, e o é no livro *The Physical Principles of Quantum Theory*. Neste sentido, para Heisenberg, no regime quântico o sujeito e o objeto se misturam, pois mais sensivelmente se percebe que “é a teoria que decide o que nós podemos observar”.

Aqui talvez se faça relevante um comentário de Popper acerca do pensamento de Heisenberg. Após afirmar que havia clara influência do positivismo na negação de Heisenberg do significado do conceito de trajetória através de sua caracterização de “magnitudes não observáveis”, Popper cita March

Pode-se afirmar, talvez, sem temor de má interpretação (...), que, para o físico, um corpo só tem realidade no instante em que ele o observa. Naturalmente, *ninguém toma a posição tão extremada de asseverar que o corpo deixa de existir no momento em que lhe voltamos as costas*; mas, nesse momento, ele efetivamente cessa de ser um objeto de investigação para o físico, por que deixa de haver possibilidade de afirmar, a respeito do corpo, qualquer coisa que se baseie em experimentos (POPPER, 2010a, p. 255).

Claro que essa passagem não pode ser considerada somente fora do contexto em que Popper a insere e que faz parte da argumentação de Popper para criticar o pensamento de Heisenberg; veremos no próximo capítulo a sua relevância para a argumentação popperiana. Contudo, ela sugere que a negação da realidade física não é uma negação da existência de um objeto ou magnitude, mas a sua relevância para o empreendimento científico. “Somente tem realidade física aquilo que pode ser observado” é uma afirmação epistemológica, não ontológica.

Voltando a Beller, a comentadora atribui as discrepâncias no discurso de Heisenberg ao fato de que ele dirigiu suas conferências tanto ao público leigo quanto ao público matematicamente iniciado. Ela cita a seguinte passagem do livro *Física e Filosofia* de 1958.

Os Físicos podem ficar satisfeitos quando têm o esquema matemático e sabem como usá-lo para a interpretação do experimento. Mas eles têm que falar sobre seus resultados também para não físicos que não ficarão satisfeitos, a menos que alguma explicação em linguagem simples, compreensível por todos, seja oferecida (HEISENBERG – apud - BELLER, 1996, p. 196).

Nesse excerto, Heisenberg distingue claramente a linguagem matemática, e seu alcance, da linguagem cotidiana. Também o faz em sua obra aqui tratada *The Physical Principles of Quantum Theory* de 1930:

(...) é muito difícil modificar nossa linguagem de modo a torná-la capaz de descrever esses processos atômicos (...), palavras somente podem descrever coisas das quais podemos formar imagens mentais (...). Afortunadamente, a matemática não é sujeita a essa limitação, e tem sido possível inventar um esquema matemático – a teoria quântica – que parece inteiramente adequado ao tratamento do processo atômico; para visualização, contudo, podemos nos contentar com duas analogias incompletas – a imagem ondulatória e corpuscular. (HEISENBERG, 1949, p. 11).

Em ambas as passagens, a matemática é vista como capaz de superar as dificuldades encontradas pela linguagem cotidiana. Na passagem de 1930, Heisenberg argumenta que ela [a matemática] “não é sujeita a essa limitação [da palavra, de descrever somente coisas das quais podemos formar imagens mentais]”. Contudo, uma diferença salta à vista. No trecho citado por Beller, de 1958, Heisenberg afirma que os “não físicos” não ficarão satisfeitos com a descrição matemática despida de elementos da linguagem comum, enquanto os físicos

“podem ficar satisfeito quando têm o esquema matemático e sabem como usá-lo”. Por outro lado, no trecho de 1930, é a própria visualização do objeto tratado que está em jogo, a visualização do sistema quântico. Daí a necessidade das duas “analogias incompletas” que formam o coração da Interpretação da Complementaridade, a imagem ondulatória e a imagem corpuscular.

Podemos sugerir que há uma atenuação de intensidade do papel da linguagem comum na compreensão da mecânica quântica levando em conta as passagens citadas? Se, em 1930, as “analogias incompletas” eram necessárias para a visualização do sistema quântico para “nós” e poderíamos “nos contentarmos” com elas, em 1958, elas servem somente para satisfazer os “não físicos”, enquanto os físicos poderiam “ficar satisfeitos quando têm um esquema matemático e sabem usá-lo”. Se Beller estiver correta, a comparação somente demonstra a diferença quando Heisenberg se coloca na posição de matemático (1958) e na posição de homem em geral (1930).

Nota-se, também, que Heisenberg tem uma visão da dualidade onda-partícula e, conseqüentemente, da interpretação da complementaridade entre as imagens ondulatória e corpuscular, que a coloca como a única analogia possível, isto é, não há a força ontológica que Bohr emprega nessa dualidade, mas sua necessidade é devida tão somente à limitação da linguagem cotidiana. Independente se Beller estiver correta em seu diagnóstico, e Heisenberg muda de ponto-de-vista entre uma passagem e outra entre as supracitadas, Heisenberg tem como base para as suas considerações acerca da teoria quântica a limitação da linguagem cotidiana evidenciada pelo princípio de incerteza, não a dualidade onda-partícula, como a Interpretação da Complementaridade, segundo sugere Bohr.

Relevante para esta pesquisa é localizar o Heisenberg de 1930, o Heisenberg atacado por Popper. Bem, este Heisenberg considera que para a visualização do sistema atômico é necessária a interpretação complementar das imagens - seja porque se coloca no lugar do público leigo, seja por que realmente acreditava na necessidade de uma imagem mental em termos clássicos. Teremos de distingui-lo de Bohr, sabendo que o subjetivismo empregado nas argumentações de Heisenberg não é automaticamente extensivo ao pensamento de Bohr que era, para alguns, um realista. Popper, como já mencionado, encontrava em Bohr um

adversário que não deixava suas posições claras e que não havia compreendido seu pensamento; em contrapartida, Heisenberg parecia-lhe mais acessível.

Bohr gozava de um conhecimento filosófico e, para muitos, como Jammer, que compara as considerações de Bohr com o pensamento de Ibn-Rush (Averróis) e de Zenão de Eléia (JAMMER, 1974, p. 105-6), o físico dinamarquês fora influenciado por William James e Hoffding. Na obra *Niels Bohr: Collected Works*, Jorgen Kalckar contrasta o interesse em Filosofia de Bohr, que havia sido iniciado no pano de fundo acadêmico tradicional em Filosofia, com aqueles que não haviam adquirido este ensinamento, como Heisenberg e von Weizacker (KALCKAR, 1985, p. XIX-XX).

Chibeni relata que Heisenberg, ao formular o princípio de incerteza em 1927, havia deliberadamente evitado aspectos ontológicos, seguindo “a onda filosófica antirrealista positivista da época” (CHIBENI, 2005, p. 181). Contudo, sentia-se a necessidade de elementos ontológicos mínimos e era Bohr que se debruçava sobre essa tarefa. Chibeni ainda afirma que mesmo Heisenberg sentia que “o conteúdo físico da nova teoria não se poderia restringir ao mero fornecimento de regras de correspondência diretas com o fenômeno” (CHIBENI, 2005, p. 181). Os desenvolvimentos do formalismo matemático não estavam sendo acompanhados por um quadro ontológico claro. O artigo de Chibeni ainda ressalta que para Bohr a demonstração do princípio enunciado por Heisenberg era baseada na dualidade onda-partícula.

Na reformulação de 1929, Heisenberg se ateuve, segundo Chibeni, nos aspectos epistemológicos, como já foi mencionado anteriormente. O físico alemão baseou os resultados em definições operacionais dos conceitos físicos. Vimos, contudo, que essas definições operacionais exibiam as limitações nos usos dos conceitos e, assim, o limite de sua significação física. Desta forma, não eram simplesmente as definições operacionais dos conceitos, mas as limitações operacionais dos conceitos, segundo o princípio de incerteza, que era o objetivo de Heisenberg. Certamente, Heisenberg era mais apropriável pelos positivistas para que esses defendessem suas posições, pois, ao sustentar nessa análise a nova teoria, Heisenberg buscava deliberadamente evitar uma ontologia indesejável. Por outro lado, Bohr, partindo da dualidade onda-partícula, demonstrou o princípio de Heisenberg como

enunciando que os objetos quânticos “não possuem *em si próprios* uma posição e uma velocidade bem definidas” (CHIBENI, 2005, p. 183).

O pensamento de Heisenberg era mais compatível com o pensamento criticado por Popper, pois era até mais citado por Jordan, como vimos anteriormente, para exemplificar e fortalecer o empirismo lógico. O pensamento mais complexo ontologicamente de Bohr pouco teria a ver com aquele que era o principal adversário de Popper em 1934, o positivismo, que posteriormente fora pelo próprio Popper caracterizado como racionalismo não crítico. Sabemos que essa redução do pensamento de Heisenberg ao positivismo foi um movimento forçado pelos adeptos do positivismo lógico. O contexto em que Popper leu o livro *The Physical Principles of Quantum Theory*, era propício para realizar uma leitura positivista do pensamento de Heisenberg, afinal, essa leitura era compartilhada e, até certo ponto, alardeada pelos físicos adeptos do positivismo.

## **7. Colocação do embate**

Embora haja ressalvas a serem feitas acerca da adesão de Heisenberg ao positivismo, ressalvas acerca da leitura que Popper realiza do trabalho de Heisenberg, salta a vista as diferenças na compreensão do método científico em ambos pensadores. Como início, a própria área em que se aplica a Epistemologia: se para Heisenberg questões linguísticas entram no debate e implicam os problemas epistemológicos, para Popper tal discussão é estéril e fora do escopo da Epistemologia, que é aplicável somente após a teoria ter sido conjecturada e tem por missão esclarecer as relações lógicas entre os enunciados teóricos e os enunciados básicos.

Temos, enfim, um cenário em que os elementos presentes nas considerações epistemológicas de Heisenberg se contrastam vivamente com a caracterização de epistemologia de Popper e, como consequência, a objetividade e o realismo tão caros ao filósofo vienense são questionados por Heisenberg. O caminho que Heisenberg desenvolve para limitar a objetividade e, assim, introduzir o observador (elemento subjetivo) é apresentar



um critério de significação que estabelece o nexos semântico do conceito à possibilidade de verificação experimental, ponto em que se insere o operacionalismo. Tal critério pretende analisar a teoria segundo as possibilidades experimentais para sintetizar e classificar a teoria segundo os limites da lei de causalidade. Já Popper considera esse procedimento como não sendo epistemológico, pois define a epistemologia como a análise das relações lógicas das teorias com os enunciados básicos.

O ponto fundamental é perceber que a objetividade, o realismo e a causalidade são princípios necessários para o estabelecimento da ciência para Popper, em outras palavras, não são demonstráveis, nem refutáveis, sendo princípios metafísicos pelo critério de demarcação de Popper. Já Heisenberg empreende como meta de seu programa, segundo Popper (POPPER, 2010a, p. 239), extirpar a ciência de elementos metafísicos. De um lado, Popper delimita a epistemologia e concentra-se na possibilidade de teste da teoria, eliminando os enunciados metafísicos do processo de validação da teoria através de sucessos em testes, ponto que realmente importa do ponto de vista epistemológico para Popper. De outro lado, Heisenberg busca a validação de conceitos através de sua correspondência a operações experimentais e foca na limitação do uso dos conceitos através do operacionalismo. O falseacionismo oferece respostas aceitáveis a esses desafios, porém, sua efetivação depende de regras metodológicas, que pressupõem a objetividade. Exatamente o ponto que Heisenberg relativiza através de considerações linguísticas, método veementemente rejeitado por Popper.

### Capítulo 3 – O ataque de Popper

Este é o ponto central do debate aqui colocado: a crítica de Popper ao chamado “Programa de Heisenberg”. Já vimos o pano de fundo filosófico de Popper que sustenta a crítica aqui exposta: suas avaliações acerca do papel da epistemologia, que pensamos ser o ponto fundamental da crítica; o falseacionismo e o dedutivismo como os métodos próprios do empreendimento científico e os únicos capazes de sustentar tal empresa de forma satisfatória, isto é, a garantia do desenvolvimento científico como aproximação da verdade; o âmbito extralógico que envolve afirmações de cunho ético; a proposta do falseacionismo que se encerra em um projeto “mais audacioso”, que expressa um racionalismo autocrítico, isto é, um racionalismo que, ciente de suas limitações, pode fazer frente ao irracionalismo; e o papel das regras metodológicas e das hipóstases metafísicas<sup>28</sup> que, embora sejam metafísicas e, portanto, estão além da epistemologia, sustentam a prática científica e garantem a possibilidade de teste.

No capítulo IX da *Lógica da Pesquisa Científica*, Popper se opõe a Heisenberg em três pontos e edifica a sua tese de que a Interpretação de Heisenberg do princípio da Incerteza não pode ser mantida por ser contraditória com o formalismo da teoria quântica. Também pretende demonstrar ao longo desse capítulo IX que Heisenberg não levou a efeito a sua proposta de expurgar da teoria os elementos metafísicos nela presentes. Os três pontos são: a- a interpretação estatística da teoria quântica, fundamentada sobre a teoria frequencial objetiva, desenvolvida no capítulo VIII da *Lógica*; b- a distinção entre seleção física, seleção imaginada e medição; c- o princípio de causalidade, o indeterminismo e o determinismo como princípios metafísicos, não estando, portanto, sujeitos a demonstrações ou refutações através de dados empíricos.

Dentro do ponto (a) – a interpretação estatística da teoria quântica, fundamentada sobre a teoria frequencial objetiva desenvolvida no capítulo anterior do livro – ainda se distinguem duas questões importantes: i- a distinção entre macro leis e micro leis; ii- a

---

<sup>28</sup> “A crença na causalidade é metafísica. Ela não passa de uma típica hipóstase metafísica de uma bem justificada regra metodológica” (POPPER, 2010a, p. 272).

natureza lógica dos enunciados formalmente singulares. Vale ressaltar a importância, para a argumentação de Popper contra Heisenberg, da teoria da probabilidade desenvolvida no capítulo VIII. A crítica ao subjetivismo, por exemplo, se sustenta sobre a possibilidade da interpretação objetiva da probabilidade e da natureza falseável dos enunciados formalmente singulares, se certas regras metodológicas forem observadas<sup>29</sup>. Assim, sobre essa proposta, Popper pretende demonstrar que:  $\alpha$ - a teoria quântica é uma teoria estatística;  $\beta$ - as relações de Heisenberg são enunciados formalmente singulares.

Jammer (1974) menciona que na União Soviética a interpretação de Heisenberg foi recebida como uma interpretação “idealista e, portanto, incompatível com o materialismo soviético” (JAMMER, 1974, p. 445). Os opositores à interpretação de Heisenberg na União Soviética também foram partidários da interpretação estatística. Em seu livro-texto publicado em 1949, Blokhintsev escreveu no prefácio que, acerca do conceito de estado em mecânica quântica, “a concepção idealista” foi submetida à crítica de um ponto de vista estatístico, considerando a descrição da equação de onda como coletivos (JAMMER, 1974, p. 445).

O ponto b é uma questão física prática: a distinção entre seleção física, seleção imaginária e medição e seus respectivos usos e possibilidades dentro da mecânica quântica. Segundo a interpretação de Popper, as relações de Heisenberg impedem a seleção física de um sistema de variáveis conjugadas a partir da interferência ocasionada pela medição, o que impede a construção de condições iniciais em que seja possível medir posição e momentum com precisão arbitrária.

Dos pontos a e b se segue que é possível calcular a trajetória passada de uma partícula e testar o cálculo sem que se contrarie a teoria quântica. Tal possibilidade não é negada por Heisenberg, não obstante, o físico alemão nega que o cálculo do passado da partícula tenha realidade física, por não ser uma entidade verificável. Nesse ponto, Popper afirma que Heisenberg mantém, em sua interpretação, ao menos, uma entidade calculável, mas que não é observável, o que, para Heisenberg, seria metafísica. Popper ainda sugere que uma interpretação epistemológica, que interpreta as relações de Heisenberg como enunciados

---

<sup>29</sup> Ponto que será discutido na próxima seção.

acerca de nosso conhecimento, é subjetiva e não pode ser empírica nos termos do falseacionismo.

Na última seção, Popper argumenta a favor da causalidade e do determinismo, porém a título de “hipóstase metafísica de uma bem justificada regra metodológica – a decisão de não abandonar a busca de leis” (POPPER, 2010a, p. 272) (causalidade) e de não abandonar a busca de leis precisas (determinismo). A argumentação novamente parte da teoria da probabilidade desenvolvida no capítulo anterior. Neste caso, Popper aponta para a assimetria existente entre enunciados acerca de frequências estatísticas e enunciados singulares precisos. Os enunciados singulares precisos podem ser reduzidos à macroleis de enunciados frequenciais, ao passo que o oposto não é possível. Os enunciados frequenciais, por partirem necessariamente de premissas estatísticas, não podem ser reduzidos a enunciados singulares precisos. Contudo, Popper – por ter caracterizado o determinismo e, obviamente, o indeterminismo como hipóstases metafísicas de regras metodológicas (ver seção 3) – demonstra como tal situação lógica não conclui a favor nem do indeterminismo, nem do determinismo.

Esses são os pontos fundamentais dos argumentos e das propostas desenvolvidas ao longo do capítulo IX do livro *Lógica da Pesquisa Científica*, que tem como objetivo demonstrar quatro teses acerca da teoria de Heisenberg. Popper propõe experimentos imaginários para defender essas teses (sobretudo as teses 2, 3 e 4). Porém, como é sabido, o experimento imaginário que pretendia demonstrar que é possível calcular a trajetória futura de uma partícula e testar a correção do cálculo (que é usado para provar a quarta tese) foi logo renegado por Popper como um engano, e mesmo um engano vergonhoso. O equívoco sobre o qual se assenta esse experimento imaginário foi apontado por Einstein, von Weizacker e pelo próprio Heisenberg. Não obstante, Popper considera que o argumento EPR<sup>30</sup> é um bom substituto, apesar não ter a mesma força do experimento proposto por Popper. Os demais experimentos não são renegados.

A primeira tese afirma que as fórmulas de Heisenberg podem ser interpretadas estatisticamente. Através de uma interpretação corpuscular estatística, afirma-se que há uma

---

<sup>30</sup> Veremos no que consiste o argumento EPR em detalhes posteriormente.

relação de dispersão vigente entre as grandezas envolvidas. A segunda tese afirma que as medidas com grau de resolução melhor do que o grau apontado pelas relações de Heisenberg não são incompatíveis com a teoria quântica, segundo a interpretação estatística. A terceira tese assevera que o limite de precisão atingível não seria uma consequência lógica da teoria, mas um pressuposto adicional. A quarta tese é que a existência de um limite de precisão é contraditória com a teoria quântica interpretada estatisticamente.

Cabe ressaltar que a defesa de Popper da objetividade, da causalidade, do determinismo e do realismo na teoria quântica é dependente da interpretação estatística baseada em sua teoria da probabilidade frequencial e objetiva. É essa teoria que apresenta os conceitos e enunciados formalmente singulares que estão na base da crítica ao programa de Heisenberg, o que lhe permite defender o que se seguirá. Popper afirma que as confusões são derivadas de uma compreensão subjetiva da probabilidade e da estatística; ele afirma que os físicos se encontram em uma situação insatisfatória, pois estão “fazendo amplo uso das probabilidades sem estarem habilitados a dizer, coerentemente, o que pretende dizer com ‘probabilidade’” (POPPER, 2010a, p. 161).

## **1. O problema da probabilidade**

### **1.1 Delimitação do escopo do capítulo sobre a teoria da probabilidade e o objetivo a ser alcançado**

Como mencionado na seção anterior, Popper tem como base de sua argumentação para uma interpretação positiva da teoria quântica, bem como para a crítica à interpretação de Heisenberg, uma teoria objetiva da probabilidade. A carência de uma interpretação satisfatória da probabilidade era, para Popper, o motivo pelo qual a mecânica quântica estava imersa em tantos problemas de interpretação, apesar do fato de gozar de grande êxito experimental:

(...) um dos pontos básicos de minhas considerações – a uma conjectura que se transformou em convicção: *todos os problemas da interpretação da Mecânica Quântica podem ser considerados como problemas relativos à interpretação do cálculo de probabilidade* (POPPER, 1976, p.100).

A teoria da probabilidade desenvolvida por Popper visava compreender como enunciados de probabilidade podem ser usados como enunciados empíricos, isto é, falseáveis. Para Popper, as confusões acerca da mecânica quântica são derivadas de interpretações subjetivistas, devidas ao papel desempenhado por enunciados estatísticos na mecânica quântica interpretados como lacunas de conhecimento, ignorância.

O filósofo desenvolve uma teoria frequencial objetiva que seja isenta dos problemas da teoria frequencial de von Mises, que é usada como ponto de partida para o desenvolvimento de sua teoria. Segundo Popper, a teoria de von Mises enfrenta mais problemas lógicos do que as interpretações subjetivas no tocante ao Problema Fundamental do Acaso, embora essas – em especial a teoria logicista influenciada por Wittgenstein, que trata os enunciados de probabilidade como um meio termo entre a deduzibilidade (probabilidade = 1) e a contradição (probabilidade = 0) – não podem explicar o uso de cálculos de probabilidade por físicos, em especial na teoria quântica. A interpretação keynesiana da probabilidade considera que ela assevera o “grau de confiança racional”, indicando que o cálculo da probabilidade não versa sobre algum dado do mundo, mas sobre o nosso conhecimento sobre ele, apontando quando podemos crer em algo e em que grau (POPPER, 2010a, p.63-4). Como o sucesso de um enunciado científico é o seu sucesso em testes e que, para testá-lo, é necessário que o enunciado seja objetivo e não verse tão somente acerca do conhecimento do pesquisador, a interpretação subjetivista não pode explicar o sucesso dos usos dos cálculos de probabilidade na mecânica quântica.

Todo desenvolvimento do capítulo VIII da obra *Lógica da Pesquisa Científica* leva à forma lógica dos enunciados formalmente singulares e à sua caracterização como um enunciado falseável através de regras metodológicas adequadas. Notemos que o fato dos cientistas utilizarem o cálculo de probabilidade, estimativas estatísticas e congêneres na

prática científica (definida por Popper como tentativa e erro através de testes), entra como argumento contrário às interpretações subjetivistas da teoria da probabilidade.

O plano do capítulo VIII é desenvolver uma teoria objetiva de probabilidade, que deve ser uma teoria frequencial objetiva, considerando os problemas interpretativos presentes na teoria da probabilidade. A motivação de Popper para proceder dessa maneira é munir-se de uma apresentação da teoria da probabilidade que supere os problemas clássicos, abaixo citados, e que responda, por ser objetiva, sobre o uso que é feito pelos cientistas, sobretudo os físicos que se ocupam da teoria quântica, de procedimentos estatísticos.

Antes de tudo, é imperioso mencionar que o problema da teoria da probabilidade é um problema em si para Popper e em sua redação, apesar de preceder o problema da teoria quântica, é considerado como um problema à parte e distinto daquele tratado no capítulo IX. Certamente, a sua posição e a sua argumentação utilizadas no capítulo IX ressalta a anterioridade lógica do capítulo VIII e, é claro, os problemas tratados no capítulo IX seriam intratáveis sem a devida atenção despendida ao problema da Teoria da Probabilidade.

Contudo, o mistério a ser desvendado por Popper parece ser esse: como é possível que estimativas estatísticas sejam tão largamente utilizadas na teoria quântica e, ao mesmo tempo, sejam de caráter não-falseável? A resposta surpreendente está exposta na seção 68,

(...) como podem as hipóteses de probabilidade – que segundo vimos, são não-falseáveis – desempenhar o papel de leis naturais, no campo da ciência empírica? Nossa resposta é esta: enunciados de probabilidade, na medida em que se revelam não falseáveis, são metafísicos e destituídos de significação empírica; e, na medida em que se vêm utilizados como enunciados empíricos, são empregados *como* enunciados falseáveis (POPPER, 2010a, p. 224 – grifo meu).

O esforço no capítulo VIII é exatamente este: demonstrar como é possível submeter enunciados de probabilidade a testes empíricos e como esses enunciados se tornam falseáveis ao serem disciplinados por regras metodológicas (POPPER, 2010a, p. 224). Para tal, é

necessário examinar a forma lógica dos enunciados de probabilidades e apontar os aspectos que permitem esse tratamento, com o requisito de que a probabilidade seja definida como frequência medial. Como resultado, Popper chega aos enunciados formalmente singulares, que permitem o tratamento científico, pois tratam de enunciados acerca de frequências relativas, que são “os únicos [relativos a probabilidades] suscetíveis de teste empírico” (POPPER, 2010a, p. 233).

Temos, então, que o objetivo desse capítulo é investigar como os cientistas usam enunciados que *são não-empíricos* como enunciados empíricos, a partir da elaboração de uma teoria de probabilidade que seja objetiva e, portanto, que possa cumprir, através de regras metodológicas, o critério de falseabilidade que, como vimos, tem como uma de suas bases a objetividade. A teoria sugerida deve resolver os problemas da teoria de probabilidades, a saber, *o problema fundamental do acaso*, que é o problema derivado do fato de que o cálculo de probabilidades é aplicável somente a eventos casualoides<sup>31</sup>. Em outras palavras, eventos irregulares e insuscetíveis de regularidades matemáticas, seriam coletivos estatísticos se satisfizerem o Teorema de Bernoulli<sup>32</sup>, isto é, um teorema matemático – a primeira vista trata-se de uma contradição. O axioma da aleatoriedade – que reza que os cálculos de probabilidade sejam aplicados somente às sequências as quais não podem ser aplicadas regras matemáticas – pode ser preenchido como axioma ao lado do axioma da convergência que impõe a essas sequências limites de frequências. Esse é o problema fundamental que a teoria proposta por Popper deve responder: explicitar a relação entre o axioma da aleatoriedade e o axioma da convergência.

O plano de Popper para o capítulo VIII exclui o que ele chama de probabilidade de hipóteses, isto é, as questões acerca da relação entre probabilidade e corroboração, em especial a crítica à tese de que quanto mais provável uma hipótese, mais aceitável ela se torna; dando enfoque à probabilidade de eventos e ocorrências, não de hipóteses. Assim, o que primeiramente é focalizado pelo filósofo é o problema do acaso e o plano de uma nova teoria da probabilidade.

---

<sup>31</sup> Este requisito corresponde ao Axioma da aleatoriedade, descrito pela teoria de von Mises como “a propósito de todos os coletivos, que não existe um sistema de jogo que se lhes possa aplicar com êxito” (POPPER, 2010a, p. 168).

<sup>32</sup> O Axioma da Convergência defende que à medida que a sequência de eventos se prolonga a sequência de frequências se aproxima de um limite definido (POPPER, 2010a, p. 167).



## 1.2 A teoria de von Mises e seus problemas

A teoria de von Mises é escolhida por Popper por ser a que melhor defende uma interpretação objetiva da probabilidade. Claramente é aquela que Popper pretende empregar na análise da teoria quântica. Popper lista três interpretações e as divide em dois grupos: o grupo das interpretações subjetivistas, no qual se enquadram a teoria psicologista, que trata a probabilidade em termos de sentimentos de certeza ou incerteza, de crenças ou dúvidas; interpretação lógica que encara a probabilidade como elemento lógico entre a dedutibilidade e a contradição e; a interpretação frequencial. A interpretação psicológica está implícita no argumento do demônio de Laplace, pois o demônio que prevê a sinfonia de Beethoven na criação do universo tem o conhecimento determinado de todos os eventos, não havendo margem para sequências casualoides, tem tão somente o conhecimento como elemento distinto de qualquer homem. Assim, a aplicação de cálculos a frequências casualóides é referente à falta de conhecimento. A interpretação lógica, citada como uma interpretação subjetivista é influenciada por Wittgenstein<sup>33</sup>, que interpreta a probabilidade como a “proximidade lógica, a conexão entre dois enunciados” (POPPER, 2010a, p. 163), assumindo a dedutibilidade e a contradição como probabilidades 1 e 0, respectivamente, isto é, casos limites das relações de probabilidade. Sendo a probabilidade uma relação lógica intermediária entre duas proposições, Keynes interpreta a probabilidade como “grau de crença racional”, isto é, à luz da proposição já aceita, quanto devemos creditar certeza à proposição em questão.

Do lado das interpretações objetivas, Popper cita a teoria frequencial que interpreta, por exemplo, o enunciado, “a probabilidade de obter cinco no próximo lançamento de dados é igual a 1/6” como sendo um enunciado acerca de toda classe de lançamentos, da qual o próximo é apenas um elemento (POPPER, 2010a, p. 164). Dessa forma, os enunciados de probabilidade somente podem ser postos acerca de eventos que disponham de elementos que

---

<sup>33</sup> Proposição 5.152 “Duas proposições elementares conferem uma à outra a probabilidade  $\frac{1}{2}$ . Se  $p$  se segue de  $q$ , a proposição ‘ $q$ ’ confere à proposição ‘ $p$ ’ a probabilidade 1. A certeza da inferência lógica é um caso-limite da probabilidade. (Aplicação à tautologia e à contradição)” (WITTGENSTEIN, 1993, p. 211).

possam ser tratados como frequência. Aqueles que não podem, não são abarcados por essa interpretação, segundo os seus termos, não oferecem enunciados de probabilidade objetivos.

As interpretações subjetivas oferecem melhor resposta ao problema do acaso à primeira vista, afinal, pode considerar tal paradoxo, extrair regularidade da irregularidade, ou ordem do acaso, como o fato de que o cálculo de probabilidade não oferece previsões como os outros métodos da ciência empírica. Este problema é resolvido pelas interpretações subjetivistas ao considerarem os enunciados de probabilidade como transformações lógicas sobre nossa ignorância. Segundo Popper, essa concepção desloca o problema, pois, ao resolver o paradoxo do acaso, não oferece explicações acerca de como um enunciado de ignorância pode ser submetido a teste e corroborado. A questão volta a ser a comentada posteriormente, o próprio fato de que os cientistas formulam e refutam enunciados de probabilidade, isto é, o fato de que esses enunciados povoam as teorias científicas, em especial a teoria quântica, é um argumento suficiente para desconsiderar as interpretações subjetivistas da probabilidade.

Temos, então, o seguinte quadro incômodo: de um lado, a teoria frequencial de von Mises, cuja objetividade se alinha às demandas de Popper para que o desenvolvimento científico ocorra, isto é, preenchendo o requisito da objetividade, pode estar alinhada às soluções que Popper oferece para os demais problemas epistemológicos, como o problema da demarcação e do indutivismo. Mas essa interpretação não pode responder ao problema fundamental do acaso. De outro lado, as teorias subjetivistas, que evitam o problema fundamental do acaso, ao atribuir probabilidade à lacuna de conhecimento, mas que não podem responder à questão de como são possíveis testes de enunciados de probabilidade. Aceitar as interpretações subjetivistas acarreta abrir mão de todas as soluções de Popper para os problemas epistemológicos nas áreas em que os enunciados de probabilidade estão presentes.

A teoria de von Mises, que Popper pretende modificar para apresentar a sua solução do problema fundamental do acaso tem os seguintes elementos:

Sequencia-evento ou sequencia-propriedade: sequência original de eventos.

Frequência relativa: número total de ocorrências de uma propriedade dividido pelo número total na sequência-evento.

Sequência-frequência: sequência relativa de frequências.

Axioma da Convergência: à medida que a sequência-evento se prolonga a sequência-frequência se aproxima de um limite definido.

Axioma da Aleatoriedade: “Princípio da exclusão do sistema de jogo” Seja qual for o sistema de jogo a que possamos recorrer, se o jogo se prolonga suficientemente, as frequências relativas de lançamentos favoráveis tenderão ao mesmo limite para o qual tende a sequência de todos os lançamentos, anulando o sistema de jogo.

Coletivo: sequências de eventos casualoides, isto é, que preenchem os requisitos de convergência e de aleatoriedade.

Um problema se impõe, e foi apontado pelos críticos de von Mises, pois o limite de frequência é uma lei matemática que deve se impor a uma sequência que, pela força do axioma da aleatoriedade, não deve ser suscetível a nenhuma lei matemática ou sistema de jogo. Os críticos comumente pesam suas críticas sobre o axioma da aleatoriedade e buscam eliminá-lo, exigindo de um coletivo somente o axioma da convergência. Popper sugere outro procedimento para superar esse problema.

A crítica de Popper é sobre os axiomas que definem um coletivo. O axioma da aleatoriedade é muito vago e deve ser substituído por um requisito que não exige mais do que o que é necessário para derivar dele a “lei dos grandes números”: quanto maior uma sequência  $n$ , mais a frequência relativa se aproxima da probabilidade, digamos em uma sequência de lançamentos de moedas, probabilidade de  $\frac{1}{2}$  para cara e para coroa, ou de um lançamento de dados regulares,  $\frac{1}{6}$  para cada lado do dado. O axioma da convergência pode ser eliminado a partir desta dedução.

### 1.3 A teoria frequencial modificada

Não analisaremos o procedimento matemático, por estar algo fora do escopo da dissertação. Mencionaremos alguns aspectos desse procedimento que ajudarão a entender a teoria de Popper sobre a probabilidade e como a estrutura matemática influencia a forma lógica que Popper atribui aos enunciados de probabilidade e como essa forma lógica permite que sejam tratados de forma falseável. Lembrando que nosso interesse nesse tema é circunscrito à sua relevância para a interpretação de Popper da teoria quântica.

O plano principal é modificar o axioma da aleatoriedade, de forma que ele seja apresentado como o requisito de que os elementos componentes da classe-referência sejam absolutamente livres, grosso modo, livres para qualquer seleção por vizinhança ou por número ordinal. Após esse passo, Popper pretende derivar desse axioma modificado a “lei dos grandes números”, para que seja possível eliminar o axioma da convergência.

Os conceitos utilizados por Popper são:

Classe-referência  $\alpha$  = sequência de ocorrências.

Classe-propriedade  $\beta$  = sequência de ocorrências com dada propriedade  $\beta$ .

Classe-produto = sequência de ocorrência que pertence à classe-referência  $\alpha$  e à classe propriedade  $\beta$ , isto é,  $(\alpha \& \beta)$ , o número de elementos dessa classe é denotado por  $N(\alpha \& \beta)$ .

Seleção = Seja  $\alpha$  uma classe-referência e  $\gamma$  e  $\beta$  propriedades dos elementos da classe-referência  $\alpha$ , a seleção é uma operação que deriva nova classe-referência da classe-referência original. As seleções podem ser dos seguintes tipos:

Seleção por número ordinal = Seleção pela posição do elemento na classe-referência  $\alpha$ , se essa for numerada.

Seleção por vizinhança = Seleção pela propriedade do elemento precedente da classe-referência, por exemplo, a sequência dos elementos que sucedem elementos com a propriedade  $\gamma$ .

A definição da frequência relativa da propriedade  $\beta$  no seio da classe-referência finita  $\alpha$  é

$${}_{\alpha}F''(\beta) = N(\alpha \& \beta) / N(\alpha)$$

A frequência-relativa da propriedade  $\beta$  no seio da classe-referência  $\alpha$  é igual ao número da classe-produto ( $\alpha \& \beta$ ) dividido pelo número da classe-referência  $\alpha$ . Notem que essa definição não faz menção a casos equiprováveis, como fora criticado acerca da definição de Laplace<sup>34</sup>.

As seleções podem revelar alguns aspectos das propriedades dos elementos das classes-referências, como:

Independência = Se a frequência da propriedade  $\gamma$  na nova classe-referência ( $\alpha \& \beta$ ) for igual à frequência da propriedade  $\gamma$  dentro da classe-referência  $\alpha$  ( ${}_{\alpha,\beta}F''(\gamma) = {}_{\alpha}F''(\gamma)$ ), então as propriedades  $\gamma$  e  $\beta$  são mutualmente independentes.

Indiferença = dado o cenário acima, a frequência da propriedade  $\gamma$  é indiferente à seleção na classe-referência  $\alpha$  pela propriedade  $\beta$ .

Do ponto de vista subjetivo, a informação da propriedade  $\beta$  é irrelevante para asserir sobre a frequência de  $\gamma$  se  $\beta$  e  $\gamma$  forem mutualmente independentes.

O conceito de liberdade é alargado a partir de sua aplicação a sequências finitas com liberdade-1, isto é, sequências nas quais a seleção por vizinhança simples (elementos posteriores a elementos únicos com uma propriedade definida). Popper parte da demonstração de que é possível construir sequências- $\alpha$  (lembre-se que Popper não está comprometido com o axioma da aleatoriedade tal como defendido por von Mises) cujas frequências relativas das propriedades primárias (no caso de uma alternativa com propriedades 0 e 1, tais propriedades 0 e 1) não sejam alteradas pela seleção de serem sucessoras de elementos com propriedades definidas (por exemplo: elementos com propriedades 1). Demonstrando que, sendo  $\beta$  a

---

<sup>34</sup> Laplace define a probabilidade como o número de eventos favoráveis divididos pelo número de eventos igualmente possíveis. Como “possíveis” é equivalente á “prováveis”, a definição é viciosa (POPPER, 2010a, p. 162).

propriedade de ser sucessor de um elemento com a propriedade 1, se e somente se a sequência- $\alpha$  tiver liberdade-1 a relação

$${}_{\alpha}F''(1) = {}_{\alpha,\beta}F''(1)$$

é assegurada. Isto é, a frequência relativa de *uns* na sequência-derivada-( $\alpha,\beta$ ) é igual a frequência relativa de *uns* na sequência- $\alpha$ . A sequência- $\alpha$  é livre de efeitos ulteriores da seleção pela propriedade  $\beta$ .

Posteriormente, Popper alarga a abrangência do conceito de liberdade, demonstrando sequências que são livres de efeitos ulteriores para a seleção por qualquer ênupla de eventos predecessores. Assim, demonstra através do conceito de “liberdade” que dada uma sequência- $\alpha$  de *zeros* e *uns* – sendo  $\beta$  a propriedade de ser sucessor de dada ênupla  $n$ , sendo  $n$  qualquer número de elementos da sequência-referência  $\alpha$  e as frequências dos elementos *zeros* e *uns* forem indiferentes à seleção por  $\beta$  – a sequência- $\alpha$  é absolutamente livre de efeitos ulteriores por qualquer seleção.

Segue-se da caracterização de liberdade- $n$ , com o auxílio de sequências superpostas  $\alpha_{(n)}$ <sup>35</sup> e sequências adjacentes  $\alpha_n$ <sup>36</sup>, a dedução da fórmula binomial  ${}_{\alpha(n)}F''(m) = {}^nC_m p^m q^{n-m}$ . Dada uma sequência superposta  $\alpha(n)$  de uma alternativa (de *zeros* e *uns*),  $m$  é a propriedade dos segmentos de  $\alpha(n)$ , de que esses segmentos contêm somente um *um*. Dito isso,  $m$  são os segmentos da sequência- $\alpha(n)$  que contêm essa propriedade,  $n$  é o número de segmentos da sequência  $\alpha(n)$ ,  $p$  a frequência  ${}_{\alpha}F''(1)$  de *uns* na sequência- $\alpha$  e  $q$  a frequência  ${}_{\alpha}F''(0)$  de *zeros* em  $\alpha$ . Supondo que a sequência  $\alpha$  é  $n$ -livre, ao colocar-se a questão “qual é a frequência com que a propriedade  $m$  ocorre na sequência  $\alpha(n)$ ?” tem-se, segundo Popper, a primeira fórmula binomial  $({}_{\alpha(n)}F''(m) = {}^nC_m p^m q^{n-m})$ . Vê-se que tal fórmula é deduzida através do conceito de liberdade, sem mais pressupostos. A versão dessa fórmula para sequências infinitas será

---

<sup>35</sup> Popper define sequência de segmentos superpostos da sequência  $\alpha$  como sendo: “Dada uma sequência-referência  $\alpha$ , podemos construir uma nova sequência, de segmentos de  $\alpha$ , de maneira tal que comecemos como segmento dos primeiros  $n$  elementos  $\alpha$ . Em seguida, coloca-se o segmento dos elementos 2 até  $n + 1$  de  $\alpha$ . De modo genérico, tomamos como  $x$ -ésimo elemento da nova sequência o segmento que compreende os elementos que vão de  $x$  até  $x + n - 1$  de  $\alpha$ ” (POPPER, 2010a, p.180).

<sup>36</sup> Popper define sequência segmentos adjacentes como sendo: “a sequência de segmentos- $n$  que contém apenas segmentos- $n$  que se sucedem imediatamente, em  $\alpha$ , sem superposição” (POPPER, 2010a, p. 180).

utilizada para a dedução do teorema de Bernoulli e, assim, da lei dos grandes números, que implica a regularidade estatística nas sequências grandes, apesar da irregularidade nas sequências pequenas. Alguns passos posteriores serão omitidos para não comprometer o andamento da dissertação. Apenas apontaremos uma pequena ressalva de importância cronológica.

Um problema surge da passagem da aplicação do cálculo binomial para sequências finitas para sequências infinitas, nas sequências infinitas o limite está pressuposto. Este problema é tratado de maneira diferente no apêndice iv, adicionados na segunda edição inglesa de 1967. No apêndice de 1967, Popper utiliza o requisito da finitude, o que poderia, segundo o filósofo, eliminar a pressuposição do conceito de limite. O requisito da finitude consiste em requerer que se alcance a “sequência mais curta,  $n$ -livre para  $n$  crescente” (POPPER, 2010a, p. 182; nt.(\*2) pág. 205). A solução proposta na edição original de 1934 apresenta outro desenvolvimento argumentativo. Primeiro, é demonstrado como, com o auxílio provisório de um conceito pressuposto de limite para as sequências infinitas, é possível deduzir o cálculo binomial para sequências infinitas e, posteriormente, seção 64, Popper demonstra como, com o auxílio do conceito de frequência medial e ponto de acumulação, é possível eliminar esse pressuposto. Interessante nesse fato é que, segundo o autor, o requisito da finitude (o requisito de se obter a sequência mais curta,  $n$ -livre para  $n$ -crescente) torna os enunciados de probabilidade falseáveis, através de regras metodológicas, sem a necessidade do conceito de ponto de acumulação e frequência medial.

Buscando investigar a aplicabilidade do cálculo binomial às sequências infinitas de acordo com a argumentação proposta, Popper demonstra que sequências matemáticas infinitas somente podem ser apresentadas de acordo com uma lei de construção, isto é, apresentando a forma pela qual a sequência é construída, através de uma regra “intensional” de construção, não de uma enumeração “extensional” de seus elementos, pois, obviamente, exigiria que o resultado, por maior que fosse, formasse uma sequência finita. A lei de construção de uma sequência  $n$ -livre é descrita no apêndice iv (POPPER, 2010a, p. 323-6) e, na seção 55, para sequências finitas com  $n$  crescente. Popper alarga a dedução da fórmula binomial de sequências finitas para sequências infinitas através do procedimento de construção de uma sequência por um período gerador, através da ideia de uma sequência  $n$ -livre para  $n$  crescente.

A relevância da possibilidade de construção de sequências infinitas com tais características, como a aplicabilidade da fórmula binomial, é a possibilidade de que essas sequências matemáticas sejam estimativas hipotéticas de frequências para sequências aleatórias empíricas, como o decaimento radioativo. A proposta é caracterizar as sequências matemáticas, que podem ser obtidas com um período gerador, como hipóteses de sequências empíricas tão grandes quanto se queira. Popper apresenta duas fontes de hipóteses estatísticas; a- a “hipótese de igual possibilidade” – por exemplo, no caso do lançamento de um dado regular, cuja distribuição de frequência de suas propriedades primárias em uma sequência empírica é suposta como equiprovável – hipótese sugerida pela simetria empírica dada e; b- a “extrapolação estatística”, isto é, a partir da contagem de distribuição de frequências de propriedades de uma classe-referência empírica, supõe-se que a distribuição de frequência permanecerá a mesma no segmento imediatamente posterior. O caráter hipotético dessas afirmações acerca da distribuição estatística é claro, pois da verificação da simetria do dado, ou das frequências das propriedades através da contagem, é impossível chegar por dedução no resultado da hipótese estatística correspondente. No caso da extrapolação estatística, sem o pressuposto de que as distribuições estatísticas permanecerão iguais no período imediatamente posterior, não é possível chegar à conclusão estatística extrapolada. As estimativas de probabilidades são conjecturas, não tautologias como sugere o indutivismo (POPPER, 2010a, p.185-6).

Tendo demonstrado como a fórmula binomial é deduzida da introdução do conceito de liberdade absoluta de efeitos ulteriores. Popper pretende deduzir também o teorema de Bernoulli, que admite a seguinte formulação: dada uma frequência  $p$  de uma propriedade  $\beta$  em uma sequência  $\alpha$ , a sequência derivada  $\alpha_n$ , um segmento de  $\alpha$ , terá a frequência  $p$  da propriedade  $\beta$  tão próxima da frequência  $p$  da sequência  $\alpha$ , quanto maior for  $n$ , isto é, quanto maior a sequência de segmentos  $\alpha_n$ . Quanto maior for a sequência, menos as frequências relativas se desviam do limite de frequência.

Popper demonstra que o teorema da Bernoulli é independente do axioma da convergência e, assim, decorrente da caracterização da sequência como absolutamente livre de efeitos ulteriores. Contudo, como dito antes, o conceito de limite está pressuposto na passagem das sequências finitas para sequências infinitas na dedução da fórmula binomial. É



necessário, desse modo, eliminar o conceito tácito de limite através de um conceito adequado de frequência a partir da ideia de ponto de acumulação (POPPER, 2010a, p. 203)<sup>37</sup>.

Tal conceito de frequência é o ponto de acumulação da sequência de frequências relativas, isto é, dada uma sequência de frequências relativas,  $a$  é o ponto de acumulação se após certo elemento com frequência definida  $a$ , digamos se após o terceiro elemento com frequência  $(1/2)$ , os elementos se desviam de  $a$  por menos de uma pequena quantidade, isto é, a frequência dos elementos com uma propriedade definida na sequência considerada posterior ao terceiro elemento se desvia da frequência  $(1/2)$  por uma quantidade menor do que se desviam antes do terceiro elemento (POPPER, 2010a, p. 203). Todas as sequências aleatórias infinitas apresentam ao menos um ponto de acumulação<sup>38</sup>, podendo apresentar mais pontos de acumulação. O ponto de acumulação na sequência de frequências relativas é correspondente à “frequência medial de  $\alpha$ ” na sequência-referência  $\alpha$ . Se a sequência- $\alpha$  apresentar tão somente uma frequência medial, ela será também o limite de frequência. Assim, definindo a probabilidade  $p$  da ocorrência de uma propriedade definida da sequência  $\alpha$  como a “frequência medial de tal propriedade em  $\alpha$ ”, se houver somente uma “frequência medial de tal propriedade em  $\alpha$ ”, essa será o limite de frequência, como consequência da definição de frequência medial. A probabilidade objetiva, após essas considerações, é a frequência medial de sequências que têm somente uma frequência medial. A ressalva de que a sequência deve ter somente uma frequência medial é o que Popper chama de requisito da unicidade (POPPER, 2010a, p. 205), que juntamente com o requisito da aleatoriedade definem o que é o coletivo.

Vê-se, assim, como Popper pretendeu superar os problemas enfrentados pela teoria da probabilidade. Contra o subjetivismo, emprega uma definição de probabilidade como frequências objetivas e mostra sua viabilidade através de sua dedução do teorema de Bernoulli. Ainda supera, segundo o autor, o Problema Fundamental do Acaso, pois a regularidade estatística é uma consequência da aleatoriedade definida como “liberdade absoluta de

---

<sup>37</sup> Dada uma sequência-referência de lançamentos de moedas  $\{0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, \dots\}$  para 1=cara e 0= coroa, a sequência de frequências de 1 será  $\{0, 1/2, 2/3, 1/2, 3/5, 1/2, 3/7, \dots\}$ , o ponto de acumulação  $a$  na sequência de frequências será  $1/2$ , pois, para qualquer elemento dado, digamos o terceiro elemento, os valores se desviam de  $1/2$  por menos de uma pequena quantia  $+1/6$ , basta ver que o próximo desvio é menor  $(1/10)$  e que os desvios ocorrem em volta de  $a$   $(1/2)$ .

<sup>38</sup> Popper cita que isso é demonstrável pelos teoremas de Bolzano e Weierstrass, mas não demonstra no texto (POPPER, 2010a, p. 204).

consequências ulteriores”, isto é, dada uma sequência  $\alpha$  com elementos com propriedades  $\gamma$  e  $\beta$ , a sequência de frequências será indiferente á qualquer tipo de seleção, ordinal ou por vizinhança, independentemente do número de elementos da sequência  $\alpha$  que compõe o elemento da sequência derivada. Como o teorema de Bernoulli é deduzível a partir da definição de aleatoriedade como liberdade absoluta, a estabilidade estatística é explicada como uma consequência matemática da irregularidade da sequência do coletivo.

Para viabilizar o conceito de coletivo estatístico, ainda é necessário estabelecer o requisito da unicidade por força da possibilidade de que uma sequência possua mais de uma frequência medial e, assim, não possua um limite, o que comprometeria a validade das deduções de fórmulas feitas por Popper. Esses dois princípios viabilizam, segundo Popper, uma definição objetiva de coletivo estatístico e responde ao desafio de solucionar o Problema Fundamental do Acaso. Notem que o Problema Fundamental do Acaso é um problema específico da teoria da probabilidade, enquanto adotar uma alternativa objetiva para responder esse problema é uma estratégia demandada pelo fato de que em Física usam-se estimativas estatísticas, o que não pode ser explicado por qualquer teoria subjetivista, no entender do filósofo.

#### **1.4 Tornar um enunciado de probabilidade falseável**

Apresentadas brevemente as questões de caráter matemático e aquelas que dizem respeito tão somente aos problemas da teoria da probabilidade, é necessário estabelecer como que tais enunciados podem ser usados de modo falseável, ou seja, a questão principal do capítulo VIII, bem como que os seus desdobramentos no capítulo posterior, acerca da interpretação da teoria quântica, dependem dessa análise.

Sendo o enunciado de probabilidade um enunciado acerca da frequência medial de uma propriedade de um coletivo estatístico, tal enunciado não proíbe nenhum enunciado básico e, portanto, não é falseável em um sentido lógico estrito. Popper afirma que isso é consequência da dedutibilidade da fórmula binomial (POPPER, 2010a, p. 208-9). Lembremos

que a forma lógica de um enunciado falseável é um enunciado universal, como “Todos os corvos são negros”, que tem como consequência, somado a condições iniciais, como “Há agora e aqui um corvo”, enunciados existenciais, como “Há agora aqui um corvo e ele é negro”.

Embora a forma lógica dos enunciados de probabilidade seja diferente da forma lógica dos enunciados falseáveis e não são enunciados que possam ser estritamente falseável, tais enunciados são largamente usados na prática científica. Como são usados na prática científica é claro que são suscetíveis de testes empíricos e, mais do que isso, são efetivamente testados com sucesso. Popper adverte que o que permite o teste e a falseabilidade de enunciados de probabilidade é a regra metodológica de excluir eventos altamente improváveis (POPPER, 2010a, p. 210). O ponto recai sobre a questão “o que define se um evento é altamente improvável?” (POPPER, 2010a, p. 210). Popper pretende, no restante do capítulo VIII, apresentar a regra metodológica em questão e evidenciar como ela se relaciona logicamente com os enunciados de probabilidade.

Os enunciados de probabilidade não são falseáveis, nem verificáveis. Dizer isso significa que eles não apresentam consequências falseáveis, nem podem ser consequências de enunciados verificáveis. Sua não falseabilidade assevera que esse tipo de enunciado não acarreta nem contradiz nenhum enunciado básico (enunciado singular), porém, disso não decorre que não haja nenhum tipo de relação lógica entre enunciados de probabilidade e enunciados básicos.

Um primeiro ponto observado pelo autor é que, ao apontar que o enunciado de probabilidade é destituído de falseabilidade, não excluimos o oposto, eles podem ter como consequências enunciados existenciais estritos, que são verificáveis. Por exemplo: suponhamos um enunciado de probabilidade sobre uma sequência infinita de lançamentos de moedas que afirme que a probabilidade de que a frequência de coroas (1) e caras (0) sejam iguais à  $1/2$ . Desse enunciado de probabilidade, podemos derivar o enunciado “para cada elemento com a propriedade 1, haverá um elemento com a propriedade 0, não necessariamente imediatamente posterior”. Esse enunciado não é falseável, pois a sequência é infinita e, mesmo que após um elemento com propriedade 1 houver muitos elementos com a mesma propriedade 1, isso não falsearia o enunciado em causa (POPPER, 2010a, p.212).

Também não é verificável, por não ser um enunciado restrito espaço-temporalmente, assim, não será possível verificar em todo o universo de elementos infinitos se o enunciado se cumpre, a parte “para cada”, presente no enunciado o atribui um caráter hipotético.

Esse tipo enunciado, chamado por Popper de “enunciados existenciais universalizados”, ou hipóteses existenciais (POPPER, 2010a, p. 213), é consequência de enunciados da probabilidade e, ao mesmo tempo, pode ter suas consequências verificadas por enunciados existenciais. “Se ‘para cada elemento com a propriedade 1, haverá um elemento com a propriedade 0, não necessariamente imediatamente posterior’, então ‘para tal elemento  $q$  com a propriedade 1, há um elemento com a propriedade 0, não necessariamente imediatamente posterior’”, a consequência desse argumento pode ser verificada<sup>39</sup>. Tal fato demonstra que há relações lógicas entre enunciados de probabilidade e enunciados básicos (POPPER, 2010a, p. 213). A estimativa de que uma sequência empírica é casualoide acarreta a aplicação, nessas sequências, dos requisitos de aleatoriedade e de unicidade.

Popper explicita a função lógica de cada requisito; o requisito de aleatoriedade “a sequência deve ter liberdade absoluta de efeitos ulteriores para qualquer seleção por vizinhança ou ordinal” é uma hipótese existencial, no sentido exposto acima, isso significa que ele acarreta enunciados verificáveis, “confirmáveis”. Podemos apresentar esse enunciado da seguinte forma

“(…) para todo  $\varepsilon$  positivo, para toda ênupla predecessora e para todo elemento com o número ordinal  $x$  há um elemento, escolhido de acordo com a seleção de predecessor, com um número ordinal  $y$ , maior do que  $x$ , tal que a frequência, até o termo  $y$ , se desvia de um valor fixo,  $p$ , por uma quantia inferior a  $\varepsilon$ ” (POPPER, 2010a, p. 213).

---

<sup>39</sup> “(…) ele [o enunciado existencial universalizado] admite maior ou menor ‘confirmação’ – no sentido de que podemos alcançar êxito na tentativa de verificar muitas, algumas ou nenhuma de suas consequências existenciais. Coloca-se ele, dessa maneira, em relação aparentemente característica dos enunciados de probabilidade, referentemente ao enunciado básico” (POPPER, 2010a, p. 213).

Observa-se que as “hipóteses existenciais” enunciam que “há (sem restrição espaço-temporal) algo” “para cada x” caráter hipotético. A função de tal requisito é estabelecer a relação entre enunciados de probabilidade e enunciados básicos.

Já o requisito de unicidade é um enunciado universal que afirma que há somente uma frequência medial que pode servir de limite de probabilidade para cada propriedade de cada sequência. Porém, pelas características estatísticas desse enunciado que afirma que há somente uma frequência medial na sequência, há um limite na sequência, e ele não pode ser contraditado por nenhum enunciado singular, isto é, não estabelece nenhuma relação com enunciados básicos. De outro lado, sua função é assegurar que os enunciados de probabilidade possam se contradizer entre si. Os enunciados de probabilidade são conjunções, segundo a teoria de Popper, de um enunciado universal e uma hipótese existencial e, assim, podem ser analisados “segundo as mesmas relações lógicas (equivalência, dedutibilidade, compatibilidade e incompatibilidade)” (POPPER, 2010a, p. 215).

Dito isso, é claro que os enunciados de probabilidade não são enunciados falseáveis, se considerada tão somente sua forma lógica. Nenhuma parte do enunciado estatístico é um enunciado com consequências falseáveis através de enunciados básicos— seja o enunciado universal (que, apesar de ser universal, não se coloca em contradição com enunciados básicos, por tratar de frequências de eventos), seja a hipótese existencial. Dito isso, como falsear um enunciado com essas características lógicas? Lembrando que a análise dos requisitos evidenciou que os enunciados de probabilidade se relacionam logicamente com os enunciados básicos, mas não através de uma relação de falseabilidade, mas de verificação, que não são passíveis de testes.

#### **1.4.1 O uso de enunciados de probabilidade em física**

A questão agora, mas especificamente delineada, trata de como é possível falsear, testar, os enunciados de probabilidades em física. Sobre isto, deve estar claro que as sequências estatísticas matemáticas são hipóteses acerca de sequências empíricas ditas

aleatórias. Em física, as estimativas de probabilidades interpretam certas regularidades físicas em termos de “macroleis”, fenômenos de massa de “microeventos”. Havendo certas regularidades físicas em macroeventos, faz-se a hipótese de que são concordantes com certas estimativas matemáticas referentes a frequências de microeventos constituintes. Contudo, há o risco, uma vez que os enunciados de probabilidades não são falseáveis (POPPER, 2010a, p. 216), de se explicar qualquer fenômeno em termos de macroleis.

Popper reforça a ideia de que essa questão não interessa ao físico (POPPER, 2010a, p. 218), muito por conta daquilo que Popper iria relatar posteriormente: “a maioria dos experimentalistas (...) não parece preocupada com o papel do observador” (POPPER, 2010a, p.40), papel esse considerado relevante através de uma interpretação subjetiva da probabilidade. Para Popper, os físicos, que utilizam enunciados de probabilidade, usam-nos em testes e, portanto, conhecem a possibilidade de falseá-los, embora não de forma consciente.

Popper busca defender a definição de probabilidade apresentada por Born e Jordan, que definem a probabilidade como um valor fixado “empiricamente determinável, através de uma longa série de experimentos, com qualquer grau de aproximação” (POPPER, 2010a, p. 219). Popper interpreta a possibilidade de determinação empírica como a asserção de que há uma probabilidade diminuta que é “proibida” pelo enunciado de probabilidade em questão na física. As objeções recaem sobre a vagueza dos conceitos diminuto, longa e aproximação.

Nesse ponto, o filósofo se concentra na aplicação científica da probabilidade para responder às objeções à definição aceita por ele. Popper propõe que somente se aceite um  $\Delta p$  (intervalo de desvio mensurável de  $p$  permitido no coletivo em questão) que esteja dentro do intervalo  $\pm\phi$  (dado pelo limite de resolução do instrumento de medida (POPPER, 2010a, p.221)). Isto é, sendo  $\delta = \Delta p$ ,  $\delta = \phi$ . Assim, a escolha do  $\Delta p$  responde à questão acerca da aproximação na definição de Born-Jordan defendida por Popper. Escolhendo o intervalo de desvio permitido, o tamanho da sequência ( $n$ ) e a probabilidade diminuta que deve ser proibida  $\varepsilon$  estão em uma relação que, para cada  $n$ , há um  $\varepsilon$  correspondente.

Para escolher a probabilidade diminuta  $\varepsilon$ , que deve ser proibida pelo enunciado, basta escolher um tamanho de sequência  $n$  suficientemente grande para tornar  $\Delta p$  indiferente á  $\varepsilon$ . Pelas peculiaridades do Teorema de Bernoulli, “para todo  $n$  (‘grande’), há um valor

característico de  $\Delta p$  tal que, na vizinhança desse valor,  $\Delta p$  é altamente indiferente a alterações de  $\varepsilon$ ” (POPPER, 2010a, p. 222); assim; define-se uma sequência longa e a probabilidade diminuta característica.

Porém, do ponto de vista lógico, o enunciado de probabilidade não é incompatível com as probabilidades diminutas “proibidas”, havendo sempre a possibilidade lógica de ocorrência dessas probabilidades, sendo essas maiores do que 0. A regra metodológica introduzida por Popper, e que possibilita assim o falseamento de enunciados de probabilidade, é desprezar os resultados não suscetíveis de reprodução. Sempre que a probabilidade diminuta for reprodutível, o enunciado se veria falseado.

Tendo em mente a forma lógica das estimativas estatísticas, descrito anteriormente – que caracterizam as estimativas estatísticas como não falseáveis, mas com consequências que podem ser verificadas através de enunciados básicos – Popper afirma que para torná-las falseáveis basta aplicar uma regra metodológica que padroniza a concordância entre a estimativa de probabilidade e os enunciados básicos, traçando por essa regra o que é “proibido” pelo enunciado de probabilidade. Tal regra é: devemos considerar como enunciados falseadores de estimativas de probabilidade as frequências com probabilidade diminuta  $\varepsilon$  que são reprodutíveis (POPPER, 2010a, p.225).

Popper interpreta os enunciados das fórmulas de Heisenberg como enunciados formalmente singulares, isto é, enunciados de previsões indefinidas. Tais enunciados devem ser interpretados em termos da probabilidade objetiva, isto é, da frequência de certa ocorrência apresentar certa propriedade dentro da classe-referência correspondente. Sendo correspondentes à frequência objetiva, para interpretar enunciados formalmente singulares deve se ter em mente a classe-referência da qual faz parte, assim sendo, são enunciados concernentes a estados objetivos estatísticos de coisas, são enunciados acerca de ocorrências “objetivamente vagas” (POPPER, 2010a, p. 233) de sequências empíricas objetivamente aleatórias.

## 1.5. Teoria da propensão, uma rápida menção

A teoria frequencial da probabilidade defendida em 1934 considerava o evento singular necessariamente como um elemento de uma sequência de eventos aleatórios. A sequência de eventos aleatórios é considerada como uma sequência empírica que, por hipótese, corresponde a um coletivo estatístico matemático. A equação de onda bem como as relações de Heisenberg são consideradas nessa teoria como enunciados formalmente singulares dessas hipóteses referentes à sequência empírica. Posteriormente, Popper passou a considerar a probabilidade em termos de propensão, isto é, relacionada ao arranjo experimental ao qual a probabilidade corresponde. Gillies atribui essa mudança em relação à probabilidade ao fato de que a teoria frequencial de Von Mises é muito próxima do positivismo machiano e foi desenvolvida através das linhas positivistas de definir operacionalmente “um conceito teórico (probabilidade) em termos de um observacional (frequência)” (GILLIES, 1997, p. 132). A teoria da propensão, segundo Gillies, é bem mais próxima da teoria de Popper.

Em um artigo de 1959, Popper apresenta uma modificação em sua teoria frequencial que atribui a propensão, “[que] são propriedades disposicionais inobserváveis do mundo físico” (POPPER, 1959, p. 30), como uma propriedade de eventos singulares, arranjos físicos experimentais. A questão é levantada através de uma crítica à teoria frequencial que não pode ser respondida.

É dada uma sequência infinita de lançamentos de um dado irregular, em que a probabilidade de resultar na face seis seja  $1/4$ , e de uma de três lançamentos de um dado regular, em que a probabilidade de resultar na face seis é  $1/6$ . Não é possível identificar os lançamentos do dado regular no conjunto de lançamentos do dado irregular.

Seja  $b$  a classe de lançamentos e  $c$  a classe de lançamentos do dado regular no universo total de lançamentos, a probabilidade de o resultado ser seis em  $b$  é dada por  $p(a, b) = 1/4$ , enquanto naqueles lançamentos que pertencem a  $c$  e  $b$  a probabilidade de o resultado ser seis é dada por  $p(a, bc) = 1/6$  pela teoria frequencial. Contudo, essa afirmação é enganosa, afinal, a probabilidade  $1/6$  somente pode ser atribuída à propriedade seis se esta fosse infinita, como há somente três lançamentos de dados regulares na sequência, no universo de três



lançamentos a frequência de resultados seis será diferente de  $1/6$  na subclasse c da classe-referência. Na sequência total de lançamentos na classe-referência, a probabilidade de o resultado ser seis é  $1/4$ , porém nos lançamentos virtualmente infinitos do dado regular que faz parte da classe-referência, a probabilidade atribuída deve ser  $1/6$ .

A teoria da propensão resolve esse problema ao atribuir a probabilidade não à sequência, como foi proposto pela teoria frequencial de 1934, mas às condições geradoras, “ou arranjos experimentais” (POPPER, 1959, p. 35). Os resultados com o dado regular no universo da classe-referência são obtidos através de outra condição geradora, diversa daquela presente nos outros lançamentos, com os dados irregulares. A questão, assim como na teoria frequencial de 1934, é acerca da objetividade da probabilidade. Em 1934, a probabilidade era atribuída à sequência, entendida como objetiva e real fisicamente. Após a teoria da propensão, a probabilidade é atribuída às condições geradoras, na pesquisa física aos arranjos experimentais, que também são entendidos objetivamente, assim como a propensão que esses arranjos atribuem aos resultados singulares. Dentro do arranjo experimental que gera os resultados, o resultado singular é atribuído a uma força real e objetiva chamada propensão. “A probabilidade de um evento singular pode ser interpretada como uma propriedade do próprio evento singular e será mensurada por uma frequência estatística potencial ou virtual, em vez de uma frequência real” (POPPER, 1959, p. 37). A teoria da propensão também resolve os problemas relativos ao fato de que pela teoria frequencial, a série considerada tem que tender ao infinito.

Popper compara a propensão à ideia de campos de força de Newton, isto é, uma propriedade relacional do evento singular com outro evento, no caso da propensão, às condições geradoras que se mantêm constantes com a repetição. O filósofo ainda ressalta a diferença entre a propensão como uma propriedade disposicional e as potencialidades aristotélicas, atentando-se ao fato de que as potencialidades aristotélicas atribuem a potencialidade como uma propriedade inerente ao objeto, enquanto Popper caracteriza a propensão como uma propriedade relacional (POPPER, 1959, p. 37).

O filósofo considera a hipótese de que as condições geradoras geram propensões físicas que podem ser testadas através das frequências. Lembremos que Popper considera os enunciados de probabilidade sob a interpretação frequencial como enunciados não falseáveis

sem as adequadas regras metodológicas. É salutar que a proibição de probabilidades diminutas não reprodutíveis ganha novos contornos a partir da teoria da propensão, pois pela hipótese da propensão as condições geradoras irão produzir os mesmos efeitos repetidamente. A ressalva da reprodutibilidade está pressuposta na hipótese.

Porém, como nos adverte Gillies, mesmo a teoria da propensão está sujeita ao caráter não falseável dos enunciados de probabilidade. A questão não recai sobre a reprodutibilidade, mas sobre a probabilidade diminuta. Um enunciado de probabilidade definida como propensão ainda não se relaciona de um ponto de vista lógico com nenhum enunciado básico falseador. Qualquer enunciado básico, que é singular, não oferece risco à teoria estatística. O falseabilismo dos enunciados de probabilidade, mesmo após a teoria propensional, continua sendo um falseabilismo metodológico (GILLIES, 1997, p. 133). É a regra metodológica de eliminar a probabilidade diminuta, exemplificada por Gillies por testes como o teste do sino<sup>40</sup>, que estabelece, também para a teoria da propensão, o vínculo entre previsões indefinidas (ou propensões indefinidas) e as frequências observadas em sequências de resultados singulares.

A teoria da propensão resolve problemas da teoria frequencial e torna a teoria da probabilidade mais simples, além de mais ampla. Porém, mesmo sob essa teoria, os enunciados de probabilidade permanecem, estritamente falando, insuscetíveis a testes empíricos sem a adição de regras metodológicas. A teoria da propensão muda radicalmente a teoria de Popper acerca do determinismo ou indeterminismo, tornando-a indeterminista, afinal atribui propensões, tendências disposicionais, a eventos físicos. Porém, é relevante, para esse trabalho, o fato de que seja pelo determinismo, seja pelo indeterminismo, são razões metodológicas que irão decidir.

---

<sup>40</sup> “Seja H uma hipótese estatística. Suponha que se possa deduzir de H que uma variável aleatória X possui uma distribuição em forma de sino D. Dois pontos a e b são escolhidos de modo que D seja dividido em uma ‘cabeça’, isto é  $b > X > a$ , e pés, isto é  $X < a$  ou  $X > b$ . Os pés são tais que probabilidade de obter um resultado nos pés, dado H, possui um valor baixo, conhecido como nível de significância. O nível de significância é normalmente escolhido entre 1% e 10%, sendo 5% o valor mais comum. Suponha-se, além disso, que X seja um teste estatístico, ou seja, que X seja uma função dos dados observados cujo valor pode ser calculado a partir dos dados. Nossa regra falseadora para enunciados probabilísticos afirma que, se o valor obtido para X está nos pés da distribuição, deve considerar-se que isso falseia H; ao passo que, se o valor de X estiver na cabeça da distribuição, isso deve ser visto como uma corroboração de H” (GILLIES, 1997, p. 136).

## **1.6 Conclusão sobre enunciados de probabilidade**

A análise da forma lógica dos enunciados de probabilidade revelou que eles não são falseáveis em si, mas somente se tornam falseáveis através de regras metodológicas propícias, como a que exclui probabilidades diminutas reproduzíveis. Isso é chamado por Gillies de falseabilismo metodológico (GILLIES, 1997, p. 133) Essa aplicação revela a sua objetividade, isto é, sua possibilidade de falseamento através de testes empíricos, uma vez que a hipótese de probabilidade é realizada acerca de sequências empíricas que podem ser exploradas por um cientista que busque refutar a hipótese probabilística.

Essa longa digressão permite demonstrar a teoria de probabilidade que sustenta a argumentação de Popper na crítica a Heisenberg. Vimos que os enunciados formalmente singulares, interpretados como frequências, impõe a consideração da classe-referência e, apesar de enunciar uma previsão indefinida, não compromete o caráter objetivo, sendo um enunciado acerca de uma ocorrência objetivamente vaga, a frequência, que é objetiva e determinável em testes.

## **2. A interpretação estatística e suas consequências**

A questão que é tratada por Popper é acerca da interpretação correta das fórmulas de incerteza, como lê-las objetivamente. A garantia do método dedutivo, que tem reverberações até o pensamento ético de Popper, é o ponto que deve ser defendido. Realiza-se, assim, a oposição entre a interpretação das fórmulas de Heisenberg como limitações de nosso conhecimento e a interpretação estatística de Popper, que as apresenta como afirmando a existência de relações objetivas de dispersão estatística. Essa afirmação impõe aos enunciados das fórmulas de Heisenberg a forma lógica de enunciados formalmente singulares, que afirmam sobre a frequência de certa variável dentro do âmbito objetivo de dispersão estatística. Certamente, essa interpretação das fórmulas de Heisenberg depende da interpretação estatística da teoria quântica.

Sob a mesma motivação, isto é, desenvolver uma interpretação capaz de lidar com os enunciados da teoria quântica como sendo objetivos, isto é, que não dizem respeito ao observador, Blokhintsev afirma que é possível eliminar o observador e tornar a mecânica quântica objetivamente significativa através da interpretação da função de onda como sendo correspondente a coletivos estatísticos, e não a elementos singulares (JAMMER, 1974, p. 445-6). As estratégias de Popper e Blokhintsev são similares, identificando a equação de onda a coletivos estatísticos, os desvios de frequências podem ser considerados como associados ao coletivo, não a entidades individuais. Segundo o físico soviético, é em um coletivo estatístico quântico que as relações de Heisenberg são satisfeitas.

Nota-se que a interpretação de Blokhintsev também transcende o âmbito científico. Na União Soviética, identificava-se na interpretação de Heisenberg um caráter oposto ao espírito do materialismo histórico, espírito esse que era mais bem satisfeito através de uma interpretação estatística. Era ao combate à ideologia que se devia a interpretação de Blokhintsev (JAMMER, 1974, p. 444-6). Para Popper, de outro lado, o que representa perigo é o subjetivismo que, segundo o filósofo, poderia colocar em risco o racionalismo ao torná-lo não crítico. Os diferentes compromissos extralógicos desses dois autores, no entanto, os levaram ao mesmo caminho argumentativo, a saber, defender a interpretação estatística da teoria quântica.

## **2.1 A fórmula de Heisenberg e o princípio de incerteza: observação, objeto e sujeito**

A crítica inicial de Popper é que o intento de Heisenberg de eliminar as entidades metafísicas falha, afinal, Popper aponta a trajetória passada da partícula, dedutível pela teoria, como entidades inobserváveis que persistem na teoria dentro da interpretação de Heisenberg, que as eliminam somente através da decisão de destituir o significado de ocorrências passadas em física. Cabe a Popper demonstrar que esses enunciados têm relevância na física.

De outro lado, a mesma acusação de fracasso sobre o “programa de Heisenberg” pode ser feita por Popper sob a definição de metafísica como enunciados não falseáveis e de

enunciados falseáveis como enunciados objetivos. Se aceitarmos esses princípios, a referência de Heisenberg ao nosso conhecimento pelo princípio de incerteza torna as fórmulas de Heisenberg não falseáveis, portanto, metafísicas. Pois, pela proposta epistemológica de Popper, o conhecimento subjetivo não é falseável. Mas, em princípio, não é essa acusação de fracasso que Popper faz a Heisenberg, mas a primeira.

Popper define a fórmula de Heisenberg brevemente, como sendo um enunciado que afirma que toda mensuração interfere nas grandezas das entidades quânticas através da troca de energia entre instrumento de medida e o fenômeno analisado. Apesar de sempre ser possível realizar medidas em que a grandeza medida não seja perturbada, o preço a ser pago é “interferir fortemente em outras magnitudes características do estado a ser medido” (POPPER, 2010a, p.240). Essas relações vigem entre as grandezas de posição e momentum, portanto, “(...) é impossível, em princípio, prever a *trajetória de uma partícula*” (POPPER, 2010a, p. 241). O conceito trajetória de entidades quânticas perde o sentido físico para Heisenberg.

Lembremos que Heisenberg considera que há uma disparidade inconciliável entre a linguagem clássica e o fenômeno quântico. Disparidade por conta da impossibilidade de atribuir os conceitos da linguagem clássica aos fenômenos quânticos, que apresentam a dualidade onda-partícula. Por exemplo, a luz (tradicionalmente aceita como uma onda) que apresenta desvio de momentum pelo efeito Compton, o que pressupõe o comportamento típico de corpúsculo e o decaimento radioativo da matéria que apresenta franjas ondulatórias de interferência, podendo ser deduzidas matematicamente grandezas como amplitude de onda (HEISENBERG, 1949, p. 10). As imagens mentais ondulatórias e corpusculares são contraditórias entre si, em última instância por serem originárias da linguagem clássica, que é derivada das “necessidades cotidianas” (HEISENBERG, 1949, p. 11).

Os conceitos da linguagem clássica são incompatíveis com os fenômenos quânticos, o que demanda uma crítica dos conceitos, uma limitação dos conceitos através da análise dos experimentos. As fórmulas de Heisenberg, sob a interpretação da incerteza, seria a evidência da limitação dos conceitos clássicos. O próprio conceito clássico “observação” é incompatível com o conceito “coincidência espaço-temporal” (HEISENBERG, 1949, p. 2). De outro lado, os conceitos que são empregados na física têm os seus limites dados pelas operações que permitem previsão, dessa forma, devem obedecer aos limites impostos pelas relações de

incerteza. O conceito “observação” é um conceito da linguagem clássica e recebe seu significado através da pressuposição tácita de que a interferência da mensuração no fenômeno é negligenciável, tal pressuposto tácito não é preenchido pela teoria quântica. A teoria decide o que é observação, as operações definem os limites de sua aplicação, da aplicação do conceito “observação”. A observação é toldada e, segundo Heisenberg, é impossível dizer o que é objeto observado (objeto) e o que é aparato observador (sujeito), somente uma aplicação que seja atenta aos limites da linguagem na qual a “observação” foi forjada permite que o conceito “observação” seja aplicado aos fenômenos quânticos, isso atentando para os limites apontados pelo princípio de incerteza, uma *lei da natureza* (HEISENBERG, 1949, p. 3). Aqui, sujeito e objeto misturam-se e, portanto, inserem-se as constatações subjetivistas.

Popper, que atenta para o conceito de “trajetória” na formulação clássica do princípio de incerteza, aponta que, embora tal conceito seja considerado sem sentido para Heisenberg (POPPER, 2010a, p. 241 & HEISENBERG, 1983, p. 64) é possível calculá-lo. Possibilidade que não é negada mesmo por Heisenberg, que simplesmente destituiu o conceito trajetória de significação física por se referir ao passado e, portanto, não servir para fins de previsão (HEISENBERG, 1949, p. 1). Para Popper, há duas formas de considerar tal possibilidade de cálculo: a subjetivista que considera que tanto a posição precisa quanto o momentum preciso existem (portanto uma trajetória existe), porém há um limite imposto ao nosso conhecimento (vide HEISENBERG, 1949, p. 21) e a objetiva, que afirma que a trajetória simplesmente não existe no regime quântico e atribuir tal conceito a uma entidade quântica é sem-sentido. Mas como compreender a existência da dedução do cálculo da trajetória pelo formalismo da teoria quântica? Para Popper, Heisenberg vacila entre uma e outra interpretação, sustentando-se sobre a afirmação de que “uma Física ‘objetiva’, neste sentido, isto é, divisão nítida do mundo, em objeto e sujeito, deixou evidentemente de ser possível” (POPPER, 2010a, p. 244). Bem, já vimos que Heisenberg tem essa interpretação por considerar que há uma tensão incontornável entre a linguagem clássica (forjada pelas necessidades das experiências cotidianas (HEISENBERG, 1949, p. 11)), na qual tal divisão é clara, e os fenômenos quânticos, nos quais a aplicação dos conceitos da linguagem clássica deve ser revista.

Popper intenta apresentar esse ponto através da sugestão de experimentos imaginários que permitem o cálculo passado do corpúsculo. Mais do que isso, ao passo que Heisenberg

destitui tais cálculos de significação física, Popper propõe que eles sejam importantes no processo científico, que é baseado em testes empíricos. Para isso, porém, o filósofo deve apresentar a sua própria interpretação da teoria quântica e, dentro de suas relações, demonstrar como o cálculo do passado do elétron é cientificamente relevante.

Para Heisenberg, porém, a possibilidade de uma medida precisa de posição e de momentum simultâneos é contraditória com o formalismo da teoria quântica. Sendo a impossibilidade de tais medidas simultâneas à própria base da mecânica quântica e reveladora da impossibilidade de compatibilidade entre a linguagem clássica e os fenômenos quânticos (POPPER, 2010a, p. 246 & HEISENBERG, 1949, p. 21). Popper argumenta contra essa ideia ressaltando que, embora as fórmulas de Heisenberg sejam conclusões lógicas da teoria, a interpretação dessas fórmulas como “regras limitadoras da precisão de medida possível de atingir” (POPPER, 2010a, p. 246) não decorre da teoria.

## **2.2 A interpretação estatística**

Popper relaciona a Complementaridade, tal como interpretada por Heisenberg, como resultante do processo histórico de formação da teoria quântica. “Relaciona-se com o fato de a moderna teoria quântica haver avançado ao longo de dois diferentes caminhos” (POPPER, 2010a, p. 244). Ressaltando que, ao passo que Heisenberg seguiu o caminho corpuscular, Schrödinger seguiu o caminho da teoria ondulatória clássica (POPPER, 2010a, p. 244) lançando mão das fórmulas de de Broglie. A equivalência entre os resultados desses dois caminhos, notada por Schrödinger, sugeriu, segundo Popper, que as imagens corpuscular e ondulatória fossem equivalentes, embora contraditórias e, portanto, fossem complementares.

Nos termos de Heisenberg, as imagens ondulatória e corpuscular são “analogias incompletas (...) que podem ser usadas justificadamente para descrever coisas para as quais nossa linguagem não tenha palavras” (HEISENBERG, 1949, p. 10). O uso dos conceitos dessas imagens deve ser limitado pelas relações de incerteza. Os conceitos ondulatórios

limitam o uso dos conceitos corpusculares e vice-versa. Por exemplo, o conceito posição é limitado pelo uso da teoria ondulatória da luz no experimento do microscópio de raios  $\gamma$ .

Segundo Popper, Max Born resolveu o paradoxo da equivalência entre as imagens opostas através da interpretação da função de onda  $\Psi$ , a amplitude de onda, como se referindo à probabilidade de localizar a partícula em qualquer região dada do espaço (POPPER, 2010a, p. 244). Assim, Popper defende que as fórmulas da teoria quântica, uma vez que são deduzidas a partir de fórmulas estatisticamente interpretadas, como a equação de onda, devem ser interpretadas estatisticamente, em termos de macroleis, isto é, fenômenos de massa, tal como a teoria de Einstein sobre a luz, quando este introduziu o conceito fóton.

Aqui pode ser aplicada ideia de macroleis, defendida na teoria da probabilidade de Popper, isto é, leis que sugerem relações probabilísticas entre microeventos que produzem macroeventos. A questão, segundo Popper, que se impõe à fórmula de Heisenberg – e também para todas as demais fórmulas da teoria quântica derivadas da equação de onda - é a ideia de que a equação trata de uma estimativa estatística. A relação de dedução vigente entre a equação de onda e as fórmulas de Heisenberg atribui à última o caráter estatístico atribuído à primeira. Macroleis, segundo a teoria de Popper, não são induzidas do mero acúmulo de microeventos, mas resultado de uma estimativa estatística, que tem o caráter hipotético. Interpretando como uma macrolei a equação de onda, a interpretação de Born sugere que essa seja uma conjectura que atribui probabilidade aos estados quânticos – por exemplo, a posição de um elétron –, segundo o módulo quadrático da amplitude onda.

Heisenberg atribui o caráter estatístico da teoria quântica aos distúrbios do sistema causados pelo aparato de mensuração (HEISENBERG, 1949, p. 57). É a mudança em nosso conhecimento, causada pela interferência do aparato de mensuração, que causa o resultado estatístico. Ora, a influência do aparato de mensuração é dada pelas relações de Heisenberg, sob o princípio de incerteza. Segundo Popper, a relação de dedutibilidade parte da equação de onda para as relações de Heisenberg e não em direção oposta. Esse fato impõe, para o filósofo, a necessidade de uma revisão das fórmulas de incerteza (POPPER, 2010a, p.246). Essa afirmação sugere que a direção da dedutibilidade entre a equação de onda e as fórmulas de Heisenberg é crucial para definir o caráter da fórmula deduzida. Para Popper, a anterioridade



da equação de onda interpretada estatisticamente impõe à fórmula de Heisenberg o caráter estatístico.

Para Heisenberg, a anterioridade das relações de Heisenberg (como leis naturais), impõe à equação de onda o caráter estatístico como lacuna de conhecimento, afinal, é da lacuna de conhecimento causado pela perturbação do objeto pelo aparato mensurador que advém tal caráter na teoria quântica. Lembremos ainda que as relações de Heisenberg são para o seu autor fruto da análise operacional e, portanto, seu antecedente é a própria operação experimental da qual se origina, atentando-se, é claro, às teorias acerca de como se realiza a observação, como explícito no experimento do microscópio de raios  $\gamma$ .

Aceitando a interpretação estatística da equação de onda, “ou algum pressuposto equivalente” (POPPER, 2010a, p. 247), como necessária para deduzir matematicamente as relações de Heisenberg, as últimas tornam-se enunciados formalmente singulares, pois afirma algo sobre uma ocorrência singular dentro da sequência sobre a qual é feita a estimativa estatística da interpretação de Born sobre a equação de onda. As relações de Heisenberg podem ser definidas como:

(...) dado um agregado de partículas e feita uma seleção daquelas que, a certo instante e com certo grau de precisão, ocupam determinada posição  $x$ , verificaremos que seus momenta  $p_x$ , mostrarão dispersão aleatória e o âmbito de dispersão,  $\Delta p_x$ , serão tanto maior quanto menor for  $\Delta x$  e vice-versa (POPPER, 2010a, p. 247).

A frequência objetiva da propriedade  $\beta$  da sequência  $\alpha$  de resultados do experimento acerca de uma partícula definida (digamos os estados de posição de um elétron em um microscópio de raios  $\gamma$ ) sofre uma dispersão estatística, se houver a seleção física por outra propriedade, por exemplo, pelo momentum da partícula. Quanto maior for a precisão da medida do momentum, maior será a dispersão da posição da partícula.

Ao interpretar esse enunciado dessa forma, atribuindo-o a característica de um enunciado formalmente singular, Popper afirma que o enunciado é acerca da frequência de ocorrências da propriedade  $p_x$ , após a seleção física de partículas, segundo sua posição  $x$ , no agregado de partículas, digamos a classe-referência  $\alpha$ . Tal relação de Heisenberg afirma que ocorre a dispersão estatística  $\Delta p_x$  na medida  $k$  de momentum  $p$  após a medida precisa da posição  $x$ .

Atenção ao fato de que Popper, ao apresentar sua definição do enunciado da aplicação da fórmula de Heisenberg à relação entre posição e momentum, usa o termo seleção física, e não medida. Tal distinção é relevante para o fim de entender a argumentação de Popper. A distinção entre seleção física, seleção mental e medição tem papel crucial em sua argumentação.

Por seleção física, Popper considera o processo pelo qual partículas são separadas do agregado da qual fazem parte segundo o valor de alguma grandeza definida. Por exemplo, a separação através de uma fenda de partículas com uma posição  $x$  definida, conseguindo um conjunto de partículas isoladas do agregado inicial. A seleção mental diz respeito à distinção de um grupo de partículas, com valores definidos de uma grandeza, por exemplo,  $P$ , destacado de um agregado inicial somente por dirigirmos a ele nossa atenção, mas não separados fisicamente do agregado inicial. A medida, por outro lado, pode ser realizada pela separação física, ou detectando o valor de uma grandeza de certa partícula, por exemplo, com um contador Geiger, sem realizar a separação física (POPPER, 2010a, p. 249).

Definindo um estado puro como o agregado mais homogêneo possível dentro das restrições impostas pelas fórmulas de Heisenberg  $\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi$ , Popper define as relações de Heisenberg como afirmando que “não há agregado de partículas mais homogêneo que um caso puro” (POPPER, 2010a, p. 249-50) (isto é, não há caso “superpuro”). Segundo o filósofo, as relações asseveram que o processo de seleção física de uma grandeza, como a posição, causará inevitavelmente uma dispersão nos valores da grandeza conjugada, nesse caso, o momentum. Qualquer tentativa de diminuir a dispersão dos valores de momentum da partícula causará também uma dispersão nos valores de posição. A medida exata de qualquer uma dessas grandezas causará uma dispersão completa na outra, após a medição.

Popper se opõe à interpretação corrente das relações de Heisenberg como limites na precisão atingível de medida das grandezas relacionadas. Para ele, as relações de Heisenberg apontam tão somente para a impossibilidade de produzir um agregado perfeitamente homogêneo que possa servir de condições iniciais. A medida exata da trajetória passada da partícula não se opõe, segundo essa interpretação, à validade das relações de Heisenberg. Popper, ao contrário de Heisenberg, dá relevância científica para a trajetória passada, e define as relações de Heisenberg de forma tal que elas não se opõem ao cálculo da trajetória passada da partícula.

Para Popper, o que assegura essa interpretação é o fato de que a dedução matemática das fórmulas de Heisenberg, a partir da equação de onda, transmite também a interpretação estatística da equação de onda para as fórmulas de Heisenberg.

As relações de Heisenberg são enunciados formalmente singulares que afirmam a dispersão estatística da frequência de valores para trajetórias de partículas. Medidas exatas de trajetórias de elementos singulares não contrariam as relações de Heisenberg, pois, sendo enunciados formalmente singulares, eles asseveram acerca de frequências em uma classe-referência; um evento isolado não pode contradizer um enunciado desse tipo, acerca de frequências estatísticas. Embora a validade das relações de Heisenberg impeça a construção de condições iniciais nas quais a trajetória seja observável, Popper defende que o cálculo passado de trajetórias mantém relação lógica com as fórmulas de Heisenberg. As últimas, sendo enunciados formalmente singulares, relacionam-se com enunciados de ocorrências singulares no sentido de que, dentro das regras metodológicas explicitadas na seção anterior, os enunciados de ocorrências singulares feitos repetidas vezes geram uma sequência que pode conformar-se com o enunciado formalmente singular, se apresentar as frequências previstas por esse último, a dispersão objetiva prevista por esse último.

Popper exemplifica esse ponto com um experimento imaginário que demonstra a possibilidade do cálculo da trajetória passada da partícula e, mais do que isso, a relação lógica entre esse cálculo e as relações de Heisenberg, que assegura a relevância desse tipo de cálculo como testes dessas relações. O experimento imaginário consiste em uma medida de posição seguida de uma medida de momentum. Após a partícula passar por uma fenda na posição  $x_1$

determinada e no tempo  $t_1$  determinado, medimos sua chegada a uma tela na posição  $x_2$  determinada e no tempo  $t_2$  determinado. O momentum  $p_x$  é dado por:

$$p_x = m[(x_2 - x_1)/(t_2 - t_1)]^{41}$$

Tal tipo de experimento ganha, na metodologia de Popper, relevância por exibir, através de repetidos experimentos que apresentam a trajetória de ocorrências isoladas, a distribuição de frequências que se supõe compatível com as relações de Heisenberg. Segundo essas relações, a distribuição deve estar dentro dos limites impostos por  $\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi$ . Caso a distribuição resultante de tais experimentos repetidos não estiver dentro desses limites e a distribuição falseadora for reproduzível, as relações de Heisenberg seriam refutadas. Lembremo-nos que não estariam refutadas por força de uma coerção lógica, mas através da regra metodológica de proibir probabilidades diminutas (deduzidas da estimativa de probabilidade) que são reproduzíveis. Isto é, se sempre se verificasse uma dispersão para um coletivo de corpúsculos menor do que  $\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi$ , as relações de Heisenberg seriam refutadas.

Através dessa argumentação, Popper considera que por essa via foi possível eliminar o conceito metafísico (atribuível ao fato de que a trajetória, embora seja um elemento calculável, é destituída de valor empírico por Heisenberg). Através de sua insistência na interpretação estatística, Popper afirma que a trajetória é uma *magnitude não metafísica* (POPPER, 2010a, p. 254), sendo admitida no método científico como elemento do teste da relação de Heisenberg. Este último, por sua vez, é interpretado como uma limitação na construção de condições iniciais perfeitamente homogêneas.

Popper atribui à influência positivista a ideia de Heisenberg de que “magnitudes não observáveis” são destituídas de significação física. Vejamos duas citações de Heisenberg em que a questão da significação de um conceito em física aparece:

Quando alguém quer estar claro sobre o que entende pelas palavras “posição de um objeto”, por exemplo, do elétron (relativo a dado referencial), então

---

<sup>41</sup> Esse experimento foi proposto posteriormente por Margenau e Ballantine. Pessoa Jr. ressalta que Ballantine considera, com Popper, que “partículas têm valores simultaneamente bem definidos para  $x$  e  $p_x$ , no passado, no presente, e os terão no futuro, mesmo que não sejamos capazes (por causa das limitações de preparação e de medição) de prever quais são estes valores” (PESSOA, 2010, p. 81-2).

deve especificar experimentos definidos com ajudas das quais planeja medir a “posição de um elétron”; de outra forma essa palavra não tem significado (HEISENBERG, 1983, p. 64).

Essa passagem corresponde ao artigo de Heisenberg “Über der Anschaulichen Inhalt de Quantentheorischen Kinematics und Mechanik” de 1927. Na continuação, Heisenberg afirma que conceitos espaços-temporais aplicados no regime quântico não são justificados nem pela lógica, nem pela observação. Há uma ligeira modificação, talvez aprofundamento, na passagem abaixo, publicada em 1930

Essas relações de incerteza especificam os limites dentro do qual a imagem corpuscular pode ser aplicada. Qualquer uso das palavras “posição” e “velocidade” com uma precisão que excede a dada pela relação  $[\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi]$  é tão sem sentido quanto o uso de palavras cujo sentido não foi definido (HEISENBERG, 1949, p. 15).

Nessa passagem, há menção explícita às imagens ondulatória e corpuscular, referindo-se à relação de complementaridade onda-partícula. Também se refere às relações de incerteza como limites de aplicação da imagem corpuscular (no caso do cálculo de trajetórias). Na passagem posterior, Heisenberg se refere às relações de incerteza como “grau de indeterminação no conhecimento possível presente de valores simultâneos de várias grandezas” (HEISENBERG, 1949, p. 20). A diferença entre as duas passagens exhibe a introdução de considerações acerca dos limites da aplicabilidade de conceitos de acordo com a precisão verificável possível. As imagens que se relacionam aos conceitos (por exemplo, a corpuscular que se relaciona ao conceito posição e momentum) são limitadas pela fórmula  $\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi$ , que é validada pela verificação experimental. É a esse procedimento que Heisenberg se refere na introdução, quando clama para que não seja introduzido na teoria nenhum conceito que não seja experimentalmente verificado. Porém, frente às incontornáveis dificuldades encontradas, devido à introdução de palavras da linguagem cotidiana através do uso dos instrumentos macroscópicos de mensuração, torna-se aconselhável “introduzir uma

grande quantidade de conceitos na teoria física, sem tentar justificá-los rigorosamente e, então, permitir que o experimento decida em quais pontos uma revisão é necessária” (HEISENBERG, 1949, p. 1-2). A decisão pelo experimento se dá por verificação experimental. No decorrer do livro de 1930, vemos que tal revisão exigida pelos experimentos e pelo instrumental matemático nos conceitos é a limitação preconizada pelas relações de incerteza. Lança-se mão dos conceitos ondulatórios e corpusculares e então se lhes impõe limites através de verificações experimentais das relações de Heisenberg.

Para sintetizar a ideia positivista que atribui a Heisenberg, Popper cita, como já foi mencionado, uma passagem de March:

Pode-se afirmar, talvez, sem temor de má interpretação (...) que, para o físico, um corpo só tem realidade no instante em que ele o observa. Naturalmente, ninguém toma a posição tão extremada de asseverar que o corpo deixa de existir no momento em que lhe voltamos as costas; mas, nesse momento, ele efetivamente cessa de ser um objeto de investigação para o físico, por que deixa de haver possibilidade de afirmar, a respeito do corpo, qualquer coisa que se baseie em experimentos (POPPER, 2010a, p. 255).

De fato, Heisenberg destitui de significação física aquilo que está além da observação experimental, na medida em que é a observação que apresenta os limites de aplicação dos conceitos corpusculares e ondulatórios hauridos da linguagem cotidiana.

Ao demonstrar que o cálculo da trajetória passada do elétron tem relevância física a despeito da impossibilidade que as relações de Heisenberg impõem à possibilidade de condições iniciais, Popper responde diretamente a Heisenberg que, ao afirmar que o cálculo da trajetória passada não tem realidade física, argumenta que isso é devido ao fato de que esse cálculo “não pode ser usado como condições iniciais (...) e, assim, não pode ser objeto de verificação experimental” (HEISENBERG, 1949, p. 20). O cálculo da trajetória passada não é

suscetível de verificação, porém é relevante na medida em que submete a testes as fórmulas de Heisenberg.

### 2.3 Trivialidade matemática e a “redução do pacote de ondas”

Interpretadas em termos subjetivos, como limites no conhecimento possível, as relações de Heisenberg transmitem, no entender de Popper, a interpretação subjetiva à equação de onda (POPPER, 2010a, p.257). Para quem adota essa postura, a equação de Schrödinger é “uma representação, não da natureza objetiva, mas tão somente de nosso conhecimento da natureza” (POPPER, 2010a, p. 257).

Segundo a interpretação estatística da equação de onda, o fenômeno conhecido como “redução do pacote de ondas”<sup>42</sup> pode ser reduzido a uma simples trivialidade matemática, opondo-se à ideia subjetivista de que a “redução do pacote de ondas” é a representação matemática da mudança de nosso conhecimento diante do resultado experimental. Pessoa cita Heisenberg, que define a “redução do pacote de ondas” nos seguintes termos:

Eu diria, preferencialmente, conforme fiz em meu último artigo, que o próprio observador faz a escolha, pois é só no momento em que a observação é feita que a “escolha” se torna uma realidade física e que a relação das fases nas ondas, o poder de interferência é destruído. (HEISENBERG *apud* PESSOA, 2010, p. 38).

---

<sup>42</sup> O fenômeno da redução do pacote de ondas consiste na mudança da descrição do estado da entidade quântica após a detecção. Por exemplo: dada uma preparação radioativa (que propaga por todas as direções uma partícula  $\alpha$ ) ao incidir em uma câmara de nuvens, o resultado observável será um feixe que viaja em linha reta. O paradoxo consiste na contradição aparente entre a descrição do estado antes e depois da detecção. Antes da detecção a descrição do sistema, em termos da função de onda  $\Psi$ , descreve uma emissão em onda esférica, após a detecção o sistema é descrito por uma função de onda  $\Psi$  que descreve uma posição discreta para a partícula  $\alpha$ . (vide PESSOA, 2010, p. 37-8).

Essa interpretação empresta claramente um caráter subjetivo à equação de onda e ao fenômeno conhecido como “redução de pacote onda”.

Popper apresenta um experimento proposto por Einstein para exemplificar o fenômeno, iremos apresentá-lo tal como apresentado por Heisenberg.

Imaginemos um fóton representado por um pacote de ondas (...). Ele terá, assim, certa extensão espacial e certo alcance de frequência. Por um espelho semitransparente, é possível decompô-lo em duas partes, um pacote refletido e um pacote transmitido. Há, assim, uma probabilidade definida para encontrar o fóton em uma parte ou outra do pacote dividido. Depois de um tempo suficiente, as duas partes se separarão por uma distância desejada; agora, se um experimento produzir o resultado de que o fóton está, digamos, na parte refletida do pacote, então a probabilidade de encontrar o fóton na outra parte *imediatamente se torna zero* (HEISENBERG, 1949, p. 39).

Heisenberg explica esse fenômeno afirmando que a redução do pacote de ondas (a mudança de estado do sistema representado pela função de onda) é transmitida de uma parte à outra imediatamente, em uma velocidade maior do que a velocidade da luz (HEISENBERG, 1949, p. 39). Mais detidamente, isto significa que a mudança de nosso conhecimento modifica a representação do fenômeno, dando um caráter subjetivo à equação de onda. A afirmação citada acima (na ocasião do quinto congresso de Solvay) introduz a ideia de que esta mudança é devida à intromissão do observador.

Por outro lado, através da interpretação estatística objetiva de Popper em termos da teoria frequencial, a equação de onda  $\Psi$  é um enunciado formalmente singular (um enunciado acerca de um evento em uma sequência aleatória), portanto que diz respeito a frequências, não a ocorrências singulares. Lembremo-nos da caracterização de Popper de um enunciado formalmente singular. Para esse experimento, temos que, antes da detecção, a probabilidade (interpretada em termos de frequência objetiva) é distribuída da seguinte forma: tendo a



classe-referência  $\alpha$  de todas as emissões de pacotes de ondas no espelho semitransparente;  ${}_{\alpha}F(\beta)$  como a frequência de fótons refletidos e;  ${}_{\alpha}F\gamma$  como a frequência de fótons transmitidos. Sendo que  $N\alpha = N\gamma + N\beta$  e;  ${}_{\alpha}F(\beta) = {}_{\alpha}F\gamma = 1/2$ . A equação de onda antes da detecção, afirma que na ocorrência  $k$ , a probabilidade de reflexão  ${}_{\alpha}F(\beta)$  e de transmissão  ${}_{\alpha}F\gamma$  é  $1/2$ . Em notação  ${}_{\alpha}P_k(\beta) = {}_{\alpha}P_k(\gamma) = 1/2$ . O enunciado formalmente singular exige, segundo a teoria da probabilidade de Popper, que a classe-referência seja levada em consideração (POPPER, 2010a, p. 231). O que ocorre para que a equação de onda após a detecção – digamos, de que o fóton tenha sido refletido – afirme que a frequência  $F(\beta)$  seja igual a unidade é tão-somente a mudança da classe-referência, que, após a detecção, não é mais  $\alpha$  (todos os fótons emitidos no espelho), mas  $\beta$ , pois o fóton em questão (na ocorrência  $k$ ) foi refletido. Ora, é uma trivialidade matemática que  ${}_{\beta}F(\beta)$  seja igual à unidade. Para Popper, esse caso apresenta que realmente é na correta interpretação da probabilidade que descansa a solução de todos os problemas da teoria quântica<sup>43</sup>.

Blokhintsev considera, como Popper, que a equação de onda pertence a um coletivo estatístico. Nesse ponto, porém, Blokhintsev foi alvo de respostas de Heisenberg que afirma que esse tipo de abordagem é autocontraditória, afinal algum conhecimento acerca do corpúsculo é necessário para afirmar que ele faz parte de um coletivo de corpúsculos similares (JAMMER, 1974, p. 446). Essa crítica também afeta a posição de Popper, pois esse também atribui ao corpúsculo a qualidade de fazer parte de um coletivo estatístico.

Até aqui foi demonstrado o desenvolvimento dos pontos essenciais sob o qual se sustenta a teoria de Popper para a mecânica quântica: a- a interpretação estatística da teoria quântica, fundamentada sobre a teoria frequencial objetiva; b- a distinção entre seleção física, seleção imaginada e medição. Vimos que, através da teoria de Born, a equação de onda (fundamental para a teoria quântica) deve ser interpretada estatisticamente e, por conseguinte,

---

<sup>43</sup> Pessoa (2010) ressalta que essa explicação matemática, ao ser aplicada ao experimento de Stern-Gerlach, não obtém êxito. Segundo Pessoa Jr., a explicação exige que os elementos do coletivo inicial não percam suas características, afinal o que ocorreu foi somente a seleção de um subcoletivo. Contudo, os átomos – que podem ser homogêneos, contendo somente spin  $+x$ , ao passar pelo detector, é perturbado ao ponto de perder essa característica e, em uma segunda detecção, apresenta uma equação de onda que aponta probabilidade  $1/2$  para spin  $+x$ , não 1, como no coletivo inicial (vide PESSOA, 2010, p. 43-4).

as relações de Heisenberg (tese 1)<sup>44</sup>, assim são enunciados sobre eventos objetivos, a dispersão estatística que deve ser analisada como distribuição de frequências objetivas. Ao distinguir seleção física, seleção imaginada e medição, Popper demonstra como realizar medidas com grau de precisão maior do que o grau apontado pelas relações de Heisenberg não é incompatível com a teoria quântica, ou com sua interpretação estatística (tese 2) (POPPER, 2010a, p. 238). Demonstrando que as relações de Heisenberg proíbem somente a construção de um sistema homogêneo perfeito, Popper demonstra que pela interpretação estatística da teoria quântica, a interpretação das relações de Heisenberg como limites da precisão atingível em medidas somente é possível através de pressupostos adicionais (tese 3) (POPPER, 2010a, p.238), como o pressuposto de que toda medição permite uma seleção física (POPPER, 2010a, p. 262).

Em 1934, essa distinção parecia mais importante na conclusão de seus objetivos. Afinal, Popper somente afirma que a terceira tese já tinha sido contemplada antes do experimento imaginário negado na edição inglesa de 1959, em uma nota de rodapé (POPPER, 2010a, p. 260). Popper, no entanto, afirma que a distinção entre medição preditiva e seleção física é independente do experimento imaginário negado (POPPER, 2010a, p. 263).

## **2.4 “Um sério engano em determinado experimento imaginário”<sup>45</sup>**

A quarta tese, que assevera que a existência de um limite de precisão de medida é contraditória com a teoria quântica interpretada estatisticamente, é desenvolvida através de um experimento imaginário. Contudo, tal experimento imaginário foi negado posteriormente como um “sério engano” (POPPER, 1976, p. 100). O famigerado experimento imaginário visava demonstrar que as relações de Heisenberg – interpretadas como limites da precisão possível de medidas – contrariam o formalismo da mecânica quântica.

---

<sup>44</sup> A primeira tese afirma que as fórmulas de Heisenberg devem ser interpretadas estatisticamente, assim asseveram que há uma relação de dispersão vigente entre as grandezas envolvidas (POPPER, 2010a, p. 237-8).

<sup>45</sup> POPPER, 1977, p. 100.

O experimento imaginário, que pretende demonstrar a inviabilidade da interpretação da incerteza das relações de Heisenberg, apresenta um experimento capaz de produzir medidas preditivas com precisão não limitada pelas relações de Heisenberg. Demonstrando que o formalismo permite esse tipo de medida, Popper estaria negando a efetividade da interpretação da incerteza, sua incompatibilidade com o formalismo matemático.

O experimento pretende oferecer a possibilidade de calcular a posição e o momentum de uma partícula individual. Para alcançar esse objetivo, são necessárias as relações de conservação de momentum, a fim de singularizar o enunciado. Isto é, as relações de conservação são necessárias para realizar os cálculos e para oferecer um enunciado não estatístico, singular. Lembremo-nos de que de um enunciado estatístico, somente consequências estatísticas são possíveis.

Segundo Jammer, “a ideia central do experimento imaginário era (...) obter, através das leis de conservação, uma medida não preditiva do caminho da partícula A e uma medida preditiva do caminho de sua parceira (a partícula B), com a qual colidiu” (JAMMER, 1974, p. 177). O objetivo, portanto, é conseguir uma medida preditiva sem interferir no corpúsculo e, assim, sem causar a dispersão da grandeza conjugada. Esse objetivo é aparentemente possível através da ideia de que as partículas interagiram e das leis de conservação de momentum e energia. O arranjo experimental proposto compreende:

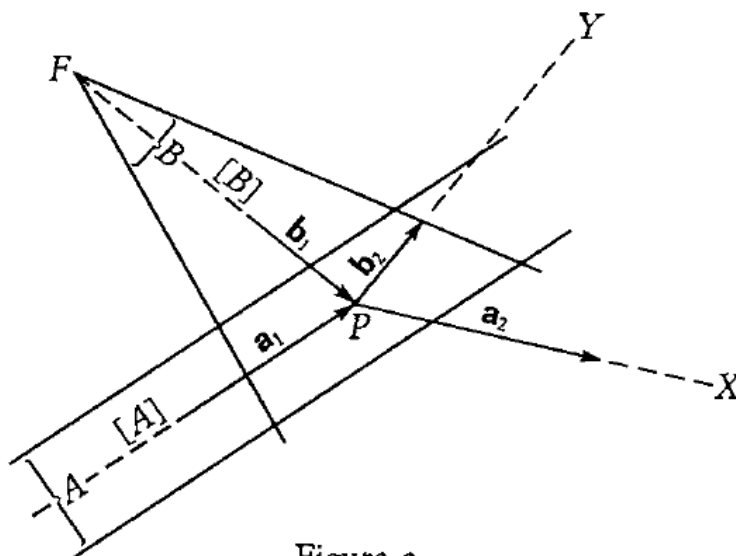


Figura 2.

[Reproduzido de (POPPER, 2010a, p.267 )]

1. Um feixe de fótons [B] que passou por uma fenda na direção perpendicular ao feixe [A].

2. Um feixe de elétrons [A] (ou outro raio corpuscular) monocromático.

A posição  $b_1$  é conhecida após atravessar a fenda e o momentum  $pa_1$  é conhecido pela seleção física de um feixe monocromático.

3. O arranjo é feito de tal forma que os feixes se colidirão em um ponto P.

4. A seleção imaginária daquelas partículas que, após atravessar a fenda, chegaram ao ponto P permite que conheçamos o momentum  $pb_1$ . Esse procedimento é permitido através da aceitação do cálculo da trajetória passada.

5. Após a colisão dos feixes em P, o feixe [A] ruma em direção ao ponto X, em que colocamos um detector a uma distância apropriada. Essa é a direção PX

6. Após a colisão dos feixes em P, o feixe [B] ruma em direção ao ponto Y; Essa é a direção PY.

7. A toda partícula do feixe [A] que ruma na direção PX, corresponde uma partícula de [B] que ruma na direção calculável PY.

8. Detectando uma partícula do feixe [A] no detector situado em X, podemos calcular seu momentum  $pa_2$ . Sabendo que ela corresponde a uma partícula de [B] viajando na direção PY, pela lei de conservação de momentum podemos calcular seu momentum  $pb_2$  da partícula que viaja na direção PY.

Como as medições em X não afetam a partícula que viaja na direção PY, a partícula pode ter sua trajetória prevista em qualquer instante posterior à medição do momentum  $pb_2$ . Também é possível conhecer o instante da colisão em P a partir do conhecimento da velocidade da partícula  $a$  que foi detectada em X. Os testes podem ser feitos colocando um detector na direção PY.

Esse experimento não contradiz a definição atribuída por Popper às relações de Heisenberg, afinal, através desse experimento, não é possível construir um estado perfeitamente homogêneo (superpuro) pela irregularidade presente no instante, o tempo da colis. Os intervalos de tempo com que ocorrem as colisões são irregulares. Popper defende que isso impede a construção de um estado superpuro, preservando a validade das relações de Heisenberg segundo a interpretação estatística dada por Popper. Esse experimento foi considerado um *experimentum crucis* pelo filósofo (POPPER, 2010a, p. 270), pois, o princípio de incerteza contraria essa possibilidade válida segundo o formalismo matemático interpretado estatisticamente. Assim o princípio de incerteza estaria refutado.

Como nos adverte Michael Redhead (1997, p. 196), o equívoco apresentado por tal experimento imaginário é o fato de que a medida de momentum da partícula b retrocedida, isto é, o teste das previsões do experimento através da mensuração do momentum  $p_b$ , irá afetar a possibilidade de retrodição da posição da partícula [B]. Em uma carta de Einstein à Popper, datada de 1935, Einstein aponta para o fato de que a medição irá “anuviar” (EINSTEIN *apud* POPPER, 2010a, p. 525) a posição de b, impossibilitando sua retrodição e, portanto, o teste do experimento imaginário de Popper.

#### **2.4.1 ...nem tão sério assim**

Como dito, Popper intentava com esse experimento demonstrar que o princípio da incerteza é incompatível com o formalismo da teoria quântica através da demonstração da viabilidade de medições preditivas mais precisas do que reza a relação de Heisenberg. Em sua carta, Einstein cita o artigo EPR e seu objetivo de demonstrar que as relações de Heisenberg impõe á função de onda o caráter de uma descrição incompleta da realidade (EINSTEIN *apud* POPPER, 2010a, p. 525-6). Popper considera o experimento na versão de 1959 de *A Lógica da Pesquisa Científica*, apresentando-o como um argumento mais fraco, pois demonstra que através das relações de Heisenberg é possível demonstrar que a teoria quântica é uma descrição incompleta da realidade, e não que o princípio de incerteza é incompatível com o formalismo da mecânica quântica. Além disso, demonstra que apesar das relações de

Heisenberg, as grandezas de posição e momentum de uma partícula têm realidade física, opondo-se ao princípio da incerteza.

O professor Nathan Rosen afirma que é possível que o experimento imaginário de Popper possa ter influenciado o argumento EPR. Jammer ressalta essa possibilidade apontando para as semelhanças entre os dois experimentos imaginários que “discutem uma interação entre duas partículas e, após a separação, a execução da medida em uma delas para obter uma predição na outra” (JAMMER, 1974, p. 178). As semelhanças realmente saltam à vista.

O experimento EPR demonstra a incompletude da função de onda; apresentam critérios de completude e de realidade física. Einstein, Podolsky e Rosen definem (EINSTEIN; PODOLSKY & ROSEN, 1935) o conceito “teoria completa” da seguinte forma “Em uma teoria completa há um elemento correspondente a cada elemento da realidade” (p. 777) e apresentam uma condição suficiente para atribuir realidade física a um elemento “a *possibilidade* de predizer [o valor da grandeza física] com certeza, sem perturbar o sistema” (p. 777 – grifo meu). Como a medida de uma grandeza, como momentum, atribui uma dispersão na medida de outra, como posição, a situação lógica que se apresenta é a seguinte. Ou (1) a descrição da realidade oferecida pela teoria quântica não é completa, ou (2) Essas duas grandezas não têm realidade simultâneas. O objetivo de Einstein é demonstrar, através de um experimento imaginário, que se (1) é falso, isto é, a descrição oferecida pela teoria quântica é completa, então (2) também é falso, ou seja, essas duas grandezas têm realidades físicas simultâneas. Em outras palavras, Einstein, Podolski e Rosen pretenderam apresentar um sistema experimental, baseado na colisão entre partículas, no qual seja possível fazer a medição precisa ou da posição, ou do momentum. A possibilidade da medição precisa, pela definição de realidade física, predicaria a grandeza em questão como fisicamente real. Após uma distancia desejada, pressupondo a localidade (tese de que a ação a distância é impossível), a ideia de que a medição em *a* mudou o resultado da medição em *b* é descartada. Como o formalismo da mecânica quântica, segundo o princípio de incerteza, impede a descrição do sistema com medidas simultaneamente precisas de posição e momentum (lembremo-nos que a mera possibilidade de medição estabelece a realidade física da grandeza em questão), tal descrição seria incompleta (lembrando que o requisito de completude de uma teoria física é

não haver nada real que não tenha um correspondente na descrição formal). Demonstrando, dessa forma, que a teoria não é completa, então, os autores afirmam que a posição e o momentum têm realidade física simultânea, embora além do alcance da teoria quântica.

O experimento consiste em um sistema composto por duas partículas,  $a$  e  $b$ , que se colidem em dado ponto no instante  $t = t_1$ . Tais partículas têm o estado descrito pela função de onda  $\psi$  conhecido, entre os instantes  $t_0$  e  $t_1$ . Após a colisão em  $t_1$ , as partículas se separam por qualquer distância desejável, de modo que as medidas em uma partícula não perturbem os resultados das medidas em outra<sup>46</sup>. Bem, a descrição de estado do sistema pela função de onda do momentum após a colisão é dada por  $\Psi = pa\psi + pb\psi$ , considerando que as medições em  $a$ , dada a distância espacial, não perturbam as medições em  $b$ . Pela lei de conservação de momentum é possível derivar o momentum  $pb$  a partir da medida de momentum  $pa$ . O mesmo procedimento é possível para a grandeza posição das partículas interagentes.

Lembrando-nos da condição suficiente para a realidade física, temos que, se for possível prever com certeza o valor de certa grandeza física, essa é real. Ora, a medição do momentum da partícula  $a$  permite que o valor do momentum de  $b$  seja previsto. Assim, a medição da posição de  $a$  permite calcular o valor da posição de  $b$ . A mera possibilidade dessas medições atribui valor de realidade a tais grandezas, certamente uma medição em  $b$  do momentum de  $b$  irá atribuir uma dispersão da posição de  $b$  segundo as relações de Heisenberg. Contudo, o ponto importante é a possibilidade dessas medições. “(...) como eu posso medir tanto  $pa$  quanto  $a$ , na Terra, então tanto um autoestado de  $pb$  quanto um de  $b$  têm realidade simultânea na Lua” (PESSOA., 2010, p. 205). É importante ressaltar que Einstein pressupõe a localidade, isto é, ele não considera possível que a medição de  $a$  na Terra possa modificar o estado de  $b$  na Lua em uma velocidade maior do que a velocidade da luz.

Para qualquer instante  $t > t_1$  há a possibilidade de obter tanto o valor da posição, quanto o valor de momentum. Dessa forma, ambas as grandezas têm realidade física em qualquer instante  $t > t_1$ . Contudo, pela validade das relações de Heisenberg, não há como descrever pelo formalismo da teoria quântica valores simultâneos para essas duas grandezas. Pela condição de completude, temos que todo elemento da realidade física deve corresponder

---

<sup>46</sup> Pessoa Jr. argumenta que nessa parte da argumentação está implícito o princípio de localidade (PESSOA, 2010, p. 207).

um elemento na teoria física. Portanto, a teoria quântica não é uma teoria física completa. Há elementos da realidade que não podem ser representados pela função de onda, a saber, os valores simultâneos para  $pa$  e  $pb$  em um instante  $t > t_1$ .

No final do artigo, os autores questionam se diante do quadro exposto, acerca da incompletude da teoria quântica, uma teoria completa é possível (EINSTEIN; PODOLSKY & ROSEN, 1935, p. 780). Bem, atribuindo o caráter estatístico ao mero desconhecimento dos processos individuais, os processos individuais não são exaustivamente explicados pela teoria quântica, implicando a incompletude da teoria quântica. (JAMMER, 1974, p. 187-8). Para Einstein, uma teoria completa deve descrever os processos individuais. No final da vida, Einstein se referiu constantemente aos seus colegas físicos que se contentaram com a descrição estatística, considerando-a completa, como pessoas que “abandonaram a razão” e que estão com o pensamento restrito (JAMMER, 1974, p. 187-8).

A interpretação popperiana da equação de onda representa coletivos estatísticos, não ocorrências singulares como as grandezas de momentum e posição de uma partícula em dado instante determinado  $t$ . O caráter de enunciado formalmente singular atribuído às relações de Heisenberg demonstram que “nada [sabemos] acerca de um evento, a não ser que ele pertence a certa classe-referência, em relação à qual alguma estimativa de probabilidade foi submetida a teste com êxito” (POPPER, 2010a, p. 232), uma “confissão de nosso deficiente conhecimento” (POPPER, 2010a, p. 233). Contudo, esse enunciado é objetivo, na medida em que afirma sobre frequências, que são objetivas, ou seja, suscetíveis de teste.

Tratando-se de um enunciado formalmente singular, acerca de um dado estatístico (dependente do fato de que o evento em causa participa de um coletivo estatístico), trata-se de um enunciado acerca de uma macrolei. Macroleis são enunciados estatísticos acerca de coletivos que, como vimos, devem ser aleatórios (casualoides). A questão que encerra o problema das relações de incerteza é que

do fato de uma sequência ser casualoides não podemos nem mesmo inferir que seus elementos não sejam previsíveis (...) no sentido subjetivo de conhecimento insuficiente; e, menos do que tudo, não podemos inferir desse



fato o fato “objetivo” de que inexistas leis [leis estritas, ou deterministas] (POPPER, 2010a, p. 227).

Relacionando com as relações de Heisenberg, delas não é possível deduzir a inexistência de posição e momentum reais e simultâneos. Mas a impossibilidade de descrição somente demonstra que a teoria é incompleta, no sentido de que, sendo acerca de coletivos estatísticos não abarcam ocorrências singulares fora das estimativas estatísticas, como aquelas presentes na equação de onda e nas relações de Heisenberg.

Vimos o desenvolvimento da crítica de Popper ao “programa de Heisenberg”, sobretudo o papel que o argumento EPR, após Popper renegar seu experimento imaginário, desempenhou. Também vimos como Popper critica a interpretação de Heisenberg, que propõe que a proibição de estados “superpuros” pelas fórmulas de Heisenberg seja atribuída a negação da realidade física dessas grandezas. Atentando-se à forma lógica das relações de Heisenberg interpretadas estatisticamente, Popper defende que a dedução de que estados “superpuros” não são fisicamente reais não pode ser derivada do formalismo da teoria quântica interpretado estatisticamente.

Essa questão se relaciona à assimetria lógica entre falseabilidade e verificabilidade. Os enunciados probabilísticos permitem deduções de enunciados formalmente singulares, que afirmam sobre uma ocorrência, desde que considerada a classe-referência correspondente. Lembremos que a relação lógica existente entre enunciados formalmente singulares e enunciados básicos afirma que os últimos devem formar um coletivo derivado que corrobora o enunciado formalmente singular, desde que esteja de acordo com a estimativa de probabilidade da qual o enunciado a ser corroborado é derivado. A possibilidade de falseamento é assegurada através da regra metodológica que proíbe sequências com probabilidade diminuta. Os enunciados básicos isolados não podem falsear um enunciado probabilístico, porém, segundo a regra metodológica apropriada, um conjunto de enunciados básicos, que permite a dedução da frequência de seus elementos, pode refutar o enunciado estatístico.

Ora, esse desenvolvimento nos permite dizer que um enunciado formalmente singular não pode proibir um enunciado básico isolado, como os resultados do experimento EPR. Para Popper, o argumento EPR demonstrou que somente através da interpretação estatística das relações de Heisenberg é possível manter a coesão da teoria quântica, enquanto uma teoria incompleta. As relações de Heisenberg, como relações de dispersão objetiva, não proíbem a existência real e simultânea de grandezas como posição e momentum que, segundo a condição de realidade de Einstein, é real. Por serem deduções de hipóteses estatísticas, apenas admitem “maior ou menor ‘confirmação’ – no sentido de que podemos alcançar êxito na tentativa de verificar muitas, algumas ou nenhuma de suas consequências existências” (POPPER, 2010a, p. 212-3). As relações de Heisenberg, como enunciados formalmente singulares, permitem que existam posição e momentum precisos, embora prescrevam que criar estados com posição e momentum exatamente determinados seja impossível. Em outras palavras, somente afirmam que a ocorrência está contida em uma classe-referência em que a distribuição de frequência é relacionada à fórmula  $\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi$  e pela equação de onda sob a interpretação de Born (em que a probabilidade é igual a  $|\Psi|^2$ ). As relações de dispersão não afirmam que não há trajetórias definidas. “As relações de dispersão são previsões de frequência acerca de trajetórias” (POPPER, 2010a, p. 254), dessa forma, não pode eliminar a existência de trajetórias.

Como conclusão, temos que o fracasso do experimento imaginário de Popper foi também o fracasso de sua quarta tese, que afirma que o princípio de incerteza é incompatível com o formalismo da teoria quântica. Porém, o argumento EPR, que segundo Popper é mais fraco por não apresentar condições de teste experimental, demonstra que a interpretação da incerteza das relações de Heisenberg não pode assegurar a completude da teoria quântica, como frequentemente é afirmado.

### **3. Razões metodológicas**

Como consequência da argumentação descrita na subseção precedente, Popper defende que as relações de Heisenberg nada devem dizer sobre o princípio de causalidade,

que não passa de “uma hipótese metafísica de uma bem justificada regra metodológica” (POPPER, 2010a, p. 272). Para Popper, a existência de leis estatísticas em uma área não impede que leis estritas sejam formuladas. Não é possível, do ponto de vista lógico, deduzir que não há leis estritas do fato de que na área em questão há leis estatísticas. A questão “O mundo é ou não regido por leis estritas?” é metafísica (POPPER, 2010a, p. 271). Como não se trata de um enunciado empírico, não pode ser submetida a testes.

Heisenberg afirma que o princípio de causalidade não é preenchido na teoria quântica, pois há mudanças descontínuas na evolução do sistema provocadas pela interação do aparato mensurador (HEISENBERG, 1949, p. 3 & p. 58). O princípio de causalidade é descrito por Heisenberg como “(...) a ideia de que fenômenos naturais obedecem a leis estritas” (HEISENBERG, 1949, p. 62). Essa ideia depende do pressuposto de que nossas observações não perturbam consideravelmente o fenômeno. Interpretadas como a relação entre o conhecimento de uma grandeza e a derivada falta de conhecimento de outra grandeza, as relações de incerteza correspondem à existência de um limite inferior de precisão que pode ser conhecida. A definição desse limite inferior pode ser postulado como uma “lei da natureza” (HEISENBERG, 1949, p. 3).

Tal lei da natureza impõe um limite para a aplicação dos conceitos “coincidência espaço-temporal”, “causalidade” e “observação”. A equação de onda descreve a evolução de um sistema com possibilidade de aplicação da lei de conservação de energia e momentum, nessas ocasiões a lei de causalidade é aplicável, porém, a equação de onda somente é aplicável em sistemas isolados, pois, pelo “princípio de incerteza” a observação perturba o sistema. Como o sistema está isolado, não é possível descrever sua posição espaço-temporal. Uma descrição espaço-temporal é possível somente com a observação, porém, por causar mudanças no sistema, o estado resultante (descrito espaço-temporalmente) não pode ser associado causalmente ao estado anterior (HEISENBERG, 1949, p. 59). Heisenberg aponta essa relação entre “coincidência espaço-temporal” e “causalidade” como complementar, no sentido da interpretação da complementaridade<sup>47</sup>.

---

<sup>47</sup> Pessoa Jr apresenta essa relação como o primeiro tipo de complementaridade, acompanhando Von Weizsäcker. Ainda ressalta que Bohr renuncia essa “complementaridade” por ferir princípios positivistas (PESSOA, 2010, p. 93-4).

A perturbação do fenômeno pelo instrumento de mensuração impede que possa haver uma decisão, senão arbitrária, entre o que é objeto e o que é observador. Não é possível distinguir, a partir do resultado, o que é efeito da perturbação e o que é comportamento do objeto. Os enunciados adequados para a descrição de fenômenos do regime quântico devem limitar a distinção entre observador (sujeito) e objeto, afinal, essa distinção não está presente nesse regime, portanto, enunciados objetivos, que não fazem menção ao sujeito, não devem fazer parte da teoria quântica.

A perturbação causada pelo instrumento de mensuração impõe que sejam utilizados enunciados de probabilidade (HEISENBERG, 1949, p. 58), que oferecem tão somente uma estimativa acerca da grandeza, não o cálculo preciso do fenômeno, impedindo que se cumpra o princípio de causalidade. Alçada à categoria de lei natural, a existência de um limite inferior para a precisão da medida conjunta de duas grandezas, como posição e momentum, elimina a lei de causalidade do regime quântico. A verificação da lei natural “princípio de incerteza” eliminou a lei natural “princípio de causalidade”.

Do ponto de vista lógico, estimativas estatísticas são não falseáveis. Porém, vimos que, oferecendo uma teoria objetiva da probabilidade – isto é, uma teoria que permite a que enunciados estatísticos sejam falseáveis – estamos aptos para atribuir objetividade a esses enunciados. Ressaltemos, porém, que o que permite que os enunciados de probabilidade sejam objetivos (suscetíveis de testes) é a postulação de regras metodológicas, como “proibir probabilidades diminutas”. Em outras palavras, refutar um enunciado estatístico na presença de frequências consideradas baixíssimas pela estimativa estatísticas, desde que a observação dessas probabilidades diminutas seja suscetível à reprodução.

Sobre a causalidade, Popper discorda da definição oferecida por Heisenberg de que a causalidade consiste na obediência a leis estritas. Alargando o conceito, Popper defende que a causalidade é a ideia metafísica de que há leis naturais, correspondente à regra metodológica de nunca abandonar a busca por leis naturais (POPPER, 2010a, p.272). Há, segundo Popper, dois tipos de leis naturais: leis estritas (ou “deterministas”) que buscam resultados precisos acerca de enunciados singulares e leis estatísticas, que afirmam a existência objetiva de frequências em sequências de ocorrências reais dentro de uma sequência considerada casualoide. “Nada há entre essas duas tarefas que as tornem incompatíveis” (POPPER, 2010a,

p. 270). Como as leis estatísticas, ou macroleis, formam um subconjunto das leis naturais, sua existência é compatível com o princípio de causalidade. Também não é possível, do ponto de vista lógico, que um enunciado de uma macrolei obrigue a abandonar a procura por leis estritas. A causalidade está assegurada, pois não pode, visto que é um princípio metafísico que corresponde a uma regra metodológica, ser eliminada através de enunciados empíricos. Ainda mais, alargando o sentido do princípio de causalidade para abarcar enunciados estritos e estatísticos mutuamente compatíveis, é incorreto opor a regra metodológica da busca por leis naturais a uma regra metodológica que impõe que busquemos tão somente estimativas estatísticas, pois essas últimas são leis naturais do tipo macroleis.

Adotando o vocabulário de Popper, podemos dizer que Heisenberg assume a posição de defender que em teoria quântica busquemos somente leis estatísticas, obedecendo ao princípio de incerteza como uma lei natural, recorrendo à dita oposição entre o princípio de incerteza e a distinção entre sujeito e objeto. Relacionando o indeterminismo ao abandono de leis naturais estritas, Heisenberg conclui que o regime quântico é indeterminista. Dois pontos devem ser ressaltados na crítica de Popper: 1- leis naturais estritas e leis naturais estatísticas são mutuamente compatíveis do ponto de vista lógico e; 2- o indeterminismo, a tese de que não há leis estritas na natureza, bem como o determinismo e a causalidade são ideias metafísicas.

Assim como a busca de leis naturais, que corresponde ao princípio de causalidade é uma hipótese metafísica que corresponde a uma regra metodológica, o abandono da busca de leis estritas é uma regra metodológica e corresponde à ideia metafísica do indeterminismo. Considerando o ponto 1, acima mencionado, e o caráter lógico de uma regra metodológica, que é uma prescrição de como o cientista deve investigar, o indeterminismo somente pode ser defendido através de ideias metafísicas. Heisenberg, assim, faz a defesa de seu programa a partir da ideia metafísica de que leis naturais estritas não são possíveis no regime quântico.

Porém, a defesa da posição de Heisenberg é baseada em uma interpretação do que é a epistemologia, na qual a objetividade, a causalidade e o indeterminismo são suscetíveis aos juízos de enunciados empíricos. Assim, procede por colocar os conceitos da linguagem corrente nas teorias físicas sob o jugo da experiência. Como “o mundo físicos difere do mundo ideal concebido em termos da experiência cotidiana” (HEISENBERG, 1949, p. 62) e

estamos presos à linguagem clássica pelo uso que fazemos de instrumentos macroscópicos, devemos usar os conceitos clássicos e “deixar que os experimentos decidam em quais pontos uma revisão é necessária” (HEISENBERG, 1949, p. 2). Essa revisão deve ser realizada tanto em termos como “posição” e “velocidade”, como “observação” que também “pertence à classe de ideias emprestadas das experiências da vida cotidiana” (HEISENBERG, 1949, p. 64), isto é, da linguagem clássica. Em outras palavras, é a linguagem que decide o que é “observação”, a experiência limita a aplicação desse conceito. Lembrando que o princípio de “causalidade” e a “objetividade” são derivados do conceito “observação” e, assim, são também revistos pela experiência.

Popper desconsidera questões acerca da linguagem, entende-as como pseudoproblemas, em sua autobiografia intelectual ele afirma:

Nunca se incline a considerar seriamente problemas relativos a palavras e seus significados. O que dever ser encarado com seriedade são questões de fato e asserções a propósito de fatos: teoria e hipóteses, bem como os problemas que elas resolvem e suscitam (POPPER, 1976, p. 25).

Popper se nega a crer que investigações acerca da origem dos termos sejam relevantes no empreendimento científico, a despeito dos fatos acerca dos quais afirmam as teorias e as hipóteses. É, acima de tudo, esse o ponto de ruptura e oposição entre Popper e Heisenberg. A investigação acerca da origem dos conceitos, bem como a crítica *aos conceitos* defendida pelo físico alemão é o próprio fundamento do “programa de Heisenberg”. Vimos, porém, que não se trata de uma asserção dogmática acerca do significado do conceito, mas, mais do que isso, uma crítica através de experimentos que leva em consideração o “regime” no qual o conceito foi forjado, a linguagem cotidiana clássica.

Como não havia como ser diferente, é o critério de demarcação que desfaz, segundo Popper, o nó górdio em que Heisenberg está atado. Atentando para as relações lógicas entre os enunciados empíricos (incluindo leis estritas e estatísticas) e ideias metafísicas hipostasiadas a partir de regras metodológicas, Popper distingue o papel que conceitos como “posição” e

“momentum” desempenham na física do papel de termos como “objetividade” e “causalidade”. Posição e momentum são termos que ocorrem nas hipóteses científicas, isto é, em enunciados empíricos que são falseáveis, isto é, que proíbem fenômenos cujos enunciados básicos podem falsear a hipótese. Por outro lado, as regras metodológicas são prescrições de como os cientistas devem agir de acordo com os objetivos que perseguem com o empreendimento científico. Segundo o critério de demarcação, não são falseáveis, ou seja, são metafísicos. Tais regras são convencionais (POPPER, 2010a, p. 55), como convenções ganham validade por serem regras proveitosas para “assegurar a aplicabilidade de nosso critério de demarcação [como falseabilidade]” (POPPER, 2010a, p.57). Por sua vez, a falseabilidade ganha validade por ser proveitosa para resolver e esclarecer problemas epistemológicos (POPPER, 2010a, p. 57), como esclarecer o papel da objetividade e da causalidade, papel esse negado por Heisenberg pelas razões mencionadas acima.

O pecado de Heisenberg foi combater ideias metafísicas através de enunciados empíricos. Vê-se que não havendo as relações lógicas pensadas por Heisenberg entre qualquer enunciado metafísico e enunciados acerca de leis naturais, a causalidade não pode ser refutada por esse meio. Não havendo também um limite para a existência simultânea de posição e momentum para o mesmo corpúsculo, nem a necessidade de menção ao sujeito nos enunciados empíricos – ponto combatido por Popper pela ideia de que as frequências são objetivas, isto é reais e suscetíveis de testes empíricos – a objetividade vê-se assegurada, sendo que é hipostasiada da regra metodológica “de aceitar na empresa científica somente enunciados suscetíveis de testes intersubjetivos”. A objetividade, interpretada como ideia metafísica, não pode ser refutada por enunciados empíricos, assim, está imune a enunciados empíricos pretensamente falseadores. Vale lembrar que tal regra metodológica é válida na medida em que o racionalismo autocrítico deve ser assegurado, relacionando-se intimamente com as ideias de liberdade do homem e de crítica livre, entendidas como preceitos que sustentam o empreendimento científico.

#### 4. Críticas à interpretação estatística de agregados corpusculares

A interpretação estatística de agregados corpusculares, adotada por Popper, não lida de maneira mais satisfatória com aspectos da mecânica quântica do que outras interpretações. Um dos problemas, já citado, é o tratamento da redução do pacote de ondas como uma trivialidade matemática. Se o que ocorre é simplesmente a escolha de uma classe-referência em que a probabilidade em questão é igual à unidade, não deve haver diferença de qualidade no agregado após a medição em relação ao agregado anterior, mas isso não ocorre para o estado de átomos no experimento Stern-Gerlach, como apontado por Pessoa (2010, p. 43-4). Segundo esta argumentação, os átomos que no agregado original eram atribuídos, digamos de spin  $+x$ , após sofrerem a redução para a grandeza spin  $z$ , o estado do sistema na base spin  $+x$  é dado por  $\sigma = 1/2(+x) + 1/2(-x)$ . A explicação pela trivialidade matemática não consegue dar conta dessa mudança de estado, atribuída à interferência do aparelho mensurador.

Tratando-se de uma interpretação corpuscular, a interpretação estatística tem bastante dificuldade para lidar com os resultados ondulatórios, por exemplo, de franjas de interferências espaciais em um experimento de difração ou em franjas temporais em um interferômetro, conseguidas através da introdução de um vidro rotatório que modifica constantemente a fase em um dos caminhos do fóton, seja refletido, seja transmitido. Os resultados da detecção nesse arranjo é um padrão ondulatório. A forma ondulatória do resultado é explicada pela teoria dos coletivos estatísticos como resultante da natureza estatística da teoria matemática (vide PESSOA, 2010, caps. 1-4). Essas questões impõem dificuldades que Popper não conseguiu superar satisfatoriamente.

Feyerabend critica a interpretação da propensão, segundo a qual os enunciados estatísticos são afirmações acerca das condições geradoras (FEYERABEND, 1968, p. 311-3). Segundo sua crítica, é exatamente esse o ponto defendido por Bohr. Em sua discussão contra Einstein, Bohr afirma que as discontinuidades são causadas por mudanças nas condições experimentais. Feyerabend compreende a atribuição de Bohr dos resultados estatísticos ao aparato mensurador como equivalente à atribuição da probabilidade à propensão, isto é, às condições geradoras de frequências. O conceito de “fenômeno” adotado por Bohr nas críticas



feitas a colocações como “perturbando o fenômeno pela observação” – que Bohr critica por sugerir que o sistema e o aparato mensurador são separados – é lido por Feyerabend como equivalente à colocação de Popper de que é necessário “observar os enunciados de Probabilidade como enunciados sobre a medida de uma propriedade de todo o arranjo experimental reproduzível” (POPPER, 1995, p. 71). Feyerabend conclui que ambas as colocações são similares e afirma que “a complementaridade e a interpretação da propensão coincidem na medida em que a probabilidade é considerada” (FEYERABEND, 1968, p. 314).

A réplica de Popper, que considerou a comparação de Feyerabend da propensão com a complementaridade como uma acusação de subjetivismo, atenta para o fato de que as condições geradoras não são apenas arranjos experimentais feitos pelo homem, mas são situações físicas presentes na natureza e que não se resumem a experimentos científicos controlados. Assim, diferentemente de Bohr, Popper não atribui os resultados estatísticos aos “*nossos* arranjos experimentais, mas simplesmente à situação física que, em certos casos, pode ser experimentalmente controlada” (POPPER, 1995, p. 71).

Não cremos que a réplica de Popper possa ser considerada satisfatória acerca de uma distinção tão clara entre a teoria da propensão e a complementaridade, tal como pensada por Bohr, quanto à interpretação da probabilidade. Porém, diversamente do que afirma Feyerabend, não é necessário que a consideração do arranjo experimental para a explicação da probabilidade implique na dissolução da objetividade, sendo ela referente à possibilidade de crítica intersubjetiva, a reprodutibilidade do experimento e as regras metodológicas permitem que o critério de objetividade seja assegurado. Diante das críticas de Feyerabend, é importante ressaltar o papel das regras metodológicas, que são prescrições não falseáveis. São elas, diante de enunciados de probabilidade, que asseguram a objetividade interpretada como possibilidade de teste.

Também ressaltamos o fato de que, ao menos em 1934, antes da teoria da propensão, o alvo de Popper era Heisenberg, que em várias questões destoava de Bohr. Heisenberg pregava a anterioridade do princípio de incerteza frente à complementaridade, ou sua equivalência. Enquanto isso, Bohr, argumentando que as relações de de Broglie estão presentes na dedução das fórmulas da incerteza, argumentava que o caminho se dá na direção oposta (JAMMER, 1974, p. 60). Lembremo-nos de que o papel que Heisenberg atribui ao princípio de incerteza é

o papel de uma lei natural a partir do qual os conceitos corpusculares e ondulatórios devem ser limitados. Embora a figura de Bohr tenha mais alcance do que a figura de Heisenberg, quem recebe as críticas de Popper em *Lógica da Pesquisa Científica* é Heisenberg.

## Considerações finais

Ressalto do que foi exposto que o fundamento da crítica de Popper é a ideia de que a ciência é uma empresa social e, assim, ideias como objetividade e causalidade, que surgem no corpo do trabalho científico, devem ser entendidas como convenções que dizem respeito à prática científica e regulam a interação entre as teorias científicas e os cientistas, bem como, a interação entre os próprios cientistas e entre as próprias teorias. A forma lógica do trabalho científico surge de modo a possibilitar a crítica intersubjetiva. Se nas leis naturais estritas é possível entrever o caráter falseável do enunciado pela simples análise lógica, nas leis naturais estatísticas esse caráter é assegurado tão somente através de regras metodológicas que permitem o falseamento.

O que Popper realiza em sua crítica é distinguir decisões metodológicas e questões empíricas. Prezar pela objetividade da ciência é decidir assegurar convencionalmente que em nenhuma área um enunciado científico deve ser elevado ao patamar de verdade universal e estabelecer-se acima da crítica. Essa decisão é exemplificada por Popper por uma intrincada passagem:

(...) as fórmulas de Heisenberg não devem ser interpretadas como proibições de que busquemos casos “superpuros”, pois só asseveram que não os encontraremos e, em particular, que não podemos produzi-los (...). As leis que proíbem velocidades superiores à da luz e casos “superpuros” desafiam o investigador, como o desafiam outros enunciados empíricos, no sentido de buscar o proibido. O investigador só pode submeter a teste enunciados empíricos se procurar falseá-los. (POPPER, 2010a, p. 273-4).

Vê-se que o problema do “programa de Heisenberg” não é tão somente proibir tal ou tal fenômeno ou medida, mas negar-lhe realidade e objetividade, pois, assim, proíbe a crítica livre e blinda as relações de Heisenberg de falseamento.

Podemos relacionar essas passagens de Popper com as afirmações que Einstein fez no fim de sua vida, que afirmam que a moderna teoria quântica “evita a realidade e a razão” e que os físicos que aceitam a completude de descrições estatísticas “abandonaram a razão” (JAMMER, 1974, p. 187-8). Para Popper e Einstein, a física não pode se furtar, por força de uma interpretação subjetivista, a buscar uma descrição completa dos processos individuais. A crença de Einstein nessa possibilidade é registrada em seu artigo “Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?” em que trata do argumento EPR.

Enquanto assim demonstramos que a função de onda não provê uma descrição completa da realidade física, deixamos em aberto se essa descrição existe ou não. Acreditamos, contudo, que tal teoria é possível (EINSTEIN, PODOLSKY & ROSEN, 1935, p. 780).

O espírito dessas duas passagens, tanto a de Popper como a de Einstein, parece ser o mesmo. Popper clama pela insistência em encontrar leis naturais estritas, enquanto Einstein apresenta sua crença de que essas são possíveis. Posteriormente, Popper passa a defender o indeterminismo, contudo, a crítica aqui relatada, de 1934, permanece válida. A ciência não deve se furtar da possibilidade de encontrar leis, sejam leis estritas, sejam leis estatísticas.

Observam-se várias críticas à interpretação de Popper da teoria quântica, mas a sua grande contribuição é demarcar o que é decisão prática e o que é enunciado empírico. Sobre o enunciado empírico, cabe distinguir o que é interpretação e aquilo que podemos chamar de conteúdo empírico das teorias científicas. Nas fórmulas de Heisenberg, o conteúdo empírico é: uma relação de dispersão caracterizada pela fórmula  $\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi$  se estabelece entre os procedimentos de medida entre duas grandezas  $p$  e  $q$ . A esse conteúdo empírico se somam interpretações que apresentam o nexos lógico com outros enunciados científicos, como a equação de onda. Popper a interpreta como dispersão, pois é um realista. Heisenberg a interpreta como lacuna de conhecimento, por ser um antirrealista. Essas interpretações são direcionadas segundo decisões de cunho extralógico. Para Heisenberg: investigar a limitação dos conceitos clássicos é necessário, pois ele acreditar que é na disparidade linguística entre o

fenômeno quântico e a linguagem clássica que jazem os problemas da teoria quântica. Para Popper: assegurar a falseabilidade como meio de defender o racionalismo autocrítico, posição que ele tem como a mais democrática e livre. Assim, vê-se que a ciência não se resume ao conteúdo empírico de seus enunciados, mas somam-se a ele direções de investigação guiadas por posições filosóficas e mesmo éticas.

## BIBLIOGRAFIA

- AGASSI, J. (2008) – *A Philosopher's Apprentice: in Karl Popper's Workshop*: Rodopi Amsterdam; Nova Iorque.
- BELLER, M. (1996) – “The Rhetoric of Antirealism and the Copenhagen Spirit” *Philosophy of Science* 63, nº 2, pp. 183-204.
- CAT, J. (1995) – “The Popper-Neurath Debate and Neurath's Attack on Scientific Method” – in.: *Studies in History and Philosophy of Sciences*, vol. 26, No. 2, pp. 219-50.
- CHIBENI, S. S. (2005) – “Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg” *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 2, p. 181-92.
- EINSTEIN, A. & PODOLSKI, B. & ROSEN, N. (mai/1935) – “Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?” *Physical Review*: Volume 47; pág. 777-80. Tradução para o português “A Descrição Quantum-Macânica da Realidade Física Pode ser Considerada Completa?”
- FEYERABEND, P (dez, 1968) – “On a Recent Critique of Complementarity” *Philosophy of Science*, v. 35, n. 4 – págs. 309-31.
- GILLIES, D. (1997) – “A Contribuição de Popper á Filosofia da Probabilidade” – in.: *Karl Popper: Filosofias e Problemas* (org. O'HEAR, A.) – pp. 126-46: Unesp, São Paulo.
- HACOHEN, M. H. (2000) – *Karl Popper: The Formative Years 1902-1945*: Cambridge University Press; Cambridge.
- HAHN, H. & NEURATH, O. & CARNAP, R. (1986) – “A Concepção Científica de Mundo” *Cadernos de Filosofia da Ciência* 10 – pp. 5-20.
- HEISENBERG, W. (1949) – *The Physicals Principles of the Quantum Theory*: Dover Publishers; Nova Iorque. Primeira edição: 1930
- \_\_\_\_\_ (1983) – “The Physical Content of Quantum Kinematics and Mechanics” – in. WHEELER, J. A. & ZUREK, W. H. (1983) – *Quantum Theory and Measurement*: Princeton University Press; New Jersey – pp. 64-84.

- HEISENBERG, W. (1996) – *A Parte e o Todo: Contraponto*; Rio de Janeiro. Original: *Der Teil und das Ganze* 1969
- \_\_\_\_\_ (1925) – “Quantum-Theoretical Re-Interpretation of Kinematics and Mechanical Relations” *British Journal of Physics*: págs. 261-276
- HOWARD, D. (2004) – “Who Invented the ‘Copenhagen Interpretation’?”: *Philosophy of Science* 71: p: 669-82
- JAMMER, M. (1974) – *The Philosophy of Quantum Mechanics*: John Wiley and Sons; New York.
- KALCKAR, J. & RUDINGER, E. (1985) – *Niels Bohr: Collected Works*: North-Holland Physics Publishing; Nova Iorque – vol.6
- MUSGRAVE, A. (2010)– *Experience and Perceptual Belief*: in.: PARUSNIKOVA, Z. & COHEN, R. – *Rethinking Popper*: Springer; Boston – págs. 5-20
- NARANIECKI, A. (2010) – *Neo-positivism or Neo-kantism? Karl Popper and the Vienna Circle* – in.: *Philosophy*; Cambridge; volume 85;: pp. 511-530
- PARUSNIKOVA, Z. (2009) - *Ratio Negativa – The Popperian Challenge* PARUSNIKOVA, Z. & COHEN, R. S. (orgs.): *Rethinking Popper*: Springer; Boston – p. 31-54
- PATY, M. (2008) – *Einstein*: Estação Liberdade; São Paulo
- PESSOA Jr., O (2010) – *Conceitos de Física Quântica*: Editora Livraria da Física; São Paulo
- POPPER, K. (1959) – “The Propensity Interpretation of Probability” *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 10, 37, pp. 25-42
- \_\_\_\_\_ (1976) – *Autobiografia Intelectual*: Cultrix; São Paulo: Original. *Unended Quest* 1974
- \_\_\_\_\_ (1987) – *Sociedade Aberta e seus Inimigos*: Itatiaia; Belo Horizonte. Original: *Open Society and its Enemies* 1945
- \_\_\_\_\_ (2010a) – *Lógica da Pesquisa Científica*: Cultrix; São Paulo. Original: *Logik der Forschung* 1934
- \_\_\_\_\_ (2010b)– in. MILLER, D. (org.) – *Karl Popper: Textos Escolhidos*: Contraponto: Rio de Janeiro – p. 217-22– *Realismo*.

- \_\_\_\_\_ (1995) – *Quantum Theory and the Schism in Physics*: Routledge; Londres. Original 1982
- REDHEAD, M. – “Popper e a Teoria Quântica” – in.: *Karl Popper: Filosofias e Problemas* (org. O’HEAR, A.) – pp. 193-210: Unesp; São Paulo
- RODITI, I. (2005)– *Dicionário de Física*, Objetiva; Rio de Janeiro.
- ROSENDE, D. (2009) – “Popper on Refutability: Some Philosophical and Historical Question”: in.: PARUSNIKOVÁ, Z & COHEN, R. S. *Rethinking Popper*: Springer; Boston – pág – 150
- SCHLICK, M. (1988) “A Causalidade na Física Atual” – in.: *Os Pensadores*: Nova Cultural; São Paulo. Original: 1931.
- WHEELER, J. A. & ZUREK, W. H. (1983) – *Quantum Theory and Measurement*: Princeton University Press; New Jersey.
- WITTGENSTEIN, L. (1993) – *Tractatus Logico-Philosophicus*: Editora da Universidade de São Paulo: São Paulo. Trad: SANTOS, L. H. L. Original 1921.