

## A Epistemologia de Ian Hacking: a dimensão experimental da ciência

Ian Hacking's Epistemology: the Experimental Dimension of Science

**Neusa Teresinha Massoni**

Doutora em Física

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

neusa.massoni@if.ufrgs.br

**Marco Antonio Moreira**

Doutor em Ensino de Ciências

Cornell University

moreira@if.ufrgs.br

**Recebido:** 01/07/2025

**Aprovado:** 09/09/2025

**Resumo:** O presente artigo busca sintetizar e discutir aspectos centrais do pensamento epistemológico de Ian Hacking, destacando a relevância que o pensador dá à dimensão experimental da ciência. Assumimos que a promoção de um processo educativo pautado na curiosidade crítica precisa oferecer aos educandos uma base fundamentada na ciência, assim como na História e Filosofia da Ciência. A análise do processo histórico de evolução das ideias científicas mostra-se, portanto, um caminho promissor. Reconhecemos que fatores epistêmicos, políticos e sociais influenciam a produção na ciência. Contudo, consideramos que a visão de Hacking assume importância no sentido de indicar que o empreendimento científico encontra substrato na corroboração experimental de teorias, modelos e entidades teóricas, concebidas como criações da mente humana, mas que, muitas vezes, o experimento antecipa teorias e constrói novos saberes. É nesse contexto que consideramos relevante trazer à reflexão algumas de suas principais ideias, tema que exploraremos ao longo deste texto com algum detalhamento.

**Palavras-chave:** Ian Hacking; Epistemologia da Ciência; Dimensão Experimental da Ciência.

**Abstract:** The present article aims to synthesize and discuss key aspects of Ian Hacking's epistemological thought, highlighting the importance he assigns to the experimental dimension of science of science. We assume that the promotion of an educational process grounded in critical curiosity must provide students with a foundation based on science, as well as on the History and Philosophy of Science. The analysis of the historical process of the evolution of scientific ideas thus proves to be a promising approach. We recognize that epistemic, political, and social factors influence scientific production. Nevertheless, we consider that Hacking's perspective is significant in pointing out that the scientific enterprise finds its foundation in the experimental corroboration of theories, models, and theoretical entities, conceived as creations of the human mind, but, often,

experiments precede theories and construct new knowledge. It is in this context that we find it relevant to bring to reflection some of his main ideas, a theme that we will explore throughout this text with some detail.

**Keywords:** Ian Hacking; Epistemology of Science; Experimental Dimension of Science.

## 1. Introdução

A ciência e a arte são ambas o resultado da criação humana. O historiador da arte Gombrich (2013) afirma que o que conhecemos como arte não existe. Existem apenas artistas. Do esboço de silhuetas de bisões em paredes de cavernas aos movimentos artísticos contemporâneos, todas estas coisas não existiriam sem um cérebro humano, que foi refinado pelo processo evolutivo. Nicolelis (2020, p. 14) diz que os termos de Gombrich podem ser modificados para introduzir qualquer texto, por exemplo, um livro de física. Nem as teorias físicas mais bem-sucedidas para explicar conjuntos de fenômenos, em diferentes escalas, ou mesmo os conceitos fundamentais como massa, carga e energia, nada disso existe por si mesmo, tudo isso é parte de uma narrativa que os cientistas construíram. A concepção de experimentos e de tecnologias é igualmente produto da criatividade humana. Tendo isso em mente, o objetivo deste texto é apresentar algumas das principais ideias epistemológicas de Ian Hacking, que se focou em demonstrar a importância da dimensão experimental na ciência, especialmente na Física.

O artigo inicia com uma apresentação de Hacking, e analisa sua filiação epistemológica, especialmente em relação ao realismo das entidades científicas e à autonomia dos experimentos, em particular aqueles manufaturados pelos cientistas. Na sequência, discute a crítica de Hacking à epistemologia tradicional, centrada na teoria, e apresenta seu posicionamento na controvérsia realismo *versus* antirrealismo: assume-se como um realista científico, e coloca sua tese de que “a experimentação cria fenômenos”. Defende que os experimentos desempenham um papel muito mais central na ciência, do que apenas testar teorias. O texto passa, então, à análise de como Hacking explora o desenvolvimento do microscópio, seu papel ativo na produção científica, e o argumento de que inicialmente não havia teoria para descrevê-lo. Nessa linha, também explora o experimento de Michelson, para medir o movimento da Terra em relação ao éter, atividade que teve por parte do experimentador um interesse muito maior em divulgar o interferômetro, do que testar pressupostos teóricos. Por fim, busca-se dialogar com alguns trabalhos recentes que fazem uso das ideias de

Hacking, e defende-se que a compreensão da visão de Hacking pode contribuir com uma educação científica mais reflexiva.

Ian Hacking foi um filósofo da ciência canadense, professor de Filosofia na Universidade de Toronto, lecionou também na Universidade de Stanford, nos EUA, e em outras universidades ao redor do mundo. Em sua análise criteriosa das temáticas centrais dos estudos filosóficos da ciência na segunda metade do século passado, com um predomínio da relação teoria-observação, ele focalizou a dimensão experimental das ciências naturais, e propôs que sua visão poderia ser tomada como um avanço da filosofia da ciência tradicional, que é centrada na teoria. Desse ponto de vista, sua epistemologia pode ser tomada como inspiração à construção de uma imagem de ciência mais equilibrada entre teoria e prática.

Hacking (2012) asseverou que os estudos filosóficos têm assumido que os “objetos científicos” possuem uma ontologia histórica, isto é, nascem, desenvolvem-se e morrem, mas, considerou essa assunção problemática porque confunde epistemologia<sup>1</sup> e ontologia<sup>2</sup>. Ele assumiu que os “tipos naturais”, próprios das ciências naturais, existem, independente de se tornarem objetos de estudo científico. Na obra *Representar e Intervir*, seu livro mais conhecido, Hacking defendeu o realismo das entidades científicas, e concluiu que “o experimento tem vida própria”, pois é através do trabalho experimental que se pode ter a oportunidade de manipular “entidades teóricas” com o fim de produzir novos fenômenos.

## **2. O realismo das entidades científicas**

Para Hacking, a criação de fenômenos é parte da atividade da ciência moderna, e é movida pela curiosidade. O processo educativo também deve ser movido pela curiosidade segundo Freire (1996, p. 85): *Como professor devo saber que sem a curiosidade que me move, que me inquieta, que me insere na busca, não aprendo nem ensino*. Hacking (2012) exemplifica a criação de fenômenos com fatos extraídos da própria ciência, como o “efeito Hall”, os masers e lasers. Estes são fenômenos que não existiam até serem isolados, purificados e criados em laboratório (por exemplo, Hall não poderia ter visto o

---

<sup>1</sup> Epistemologia é o estudo da natureza, etapas e limites do conhecimento humano; epistemologia da ciência são reflexões em torno da natureza, etapas, metodologias e limites do conhecimento científico.

<sup>2</sup> Ontologia é o estudo sobre a constituição do ser. Hacking assume uma posição ponderada ao dizer que quer fazer “ontologia histórica” – se alinhando a Foucault – quer dizer “a ontologia histórica é sobre os modos em que as possibilidades para escolha, e para o ser, surgem da história” (Hacking, 2004, p. 23).

efeito exercido pela corrente e pelo campo sobre o potencial elétrico sem ter feito medição muito delicada).

Contudo, Hacking (2012) advertiu que ao assumir essa postura não significa dizer que não existam fenômenos em seu estado puro e passíveis observação, mas significa reconhecer que na ciência natural moderna despertam mais o interesse dos cientistas os fenômenos manufaturados por eles próprios. Defendeu que o argumento experimental é o “mais forte” argumento do realismo de entidades científicas: se uma entidade ainda não chegou ao estágio de ser manipulada para ser uma ferramenta de descoberta sobre outra coisa, então nós ainda não temos um argumento que garanta sua existência (Hacking, 2012, p. 42). Afirmou que o trabalho experimental é o aspecto prático da ciência, pois é nos experimentos que os cientistas tentam, testam, erram e acertam, visando obter a evidência necessária para a realidade da entidade teórica, ainda que tal evidência não seja conclusiva.

### **3. O sentido de *Representar e Intervir***

Ao explicar o título de seu livro mais conhecido, de 1983, Hacking (2012) assumiu que o trabalho científico se constitui de duas partes: a primeira, que é abordada com maior ênfase nos estudos filosóficos contemporâneos, é o “representar” – é sobre as teorias, os modelos, a representação, a razão; a outra parte, mais negligenciada pelos filósofos e historiadores da ciência, é o “intervir” – é sobre a experimentação, a realidade das entidades. Hacking dedicou-se a discutir a segunda parte, o que considerou ser uma novidade.

Ele dialogou com estudos da Filosofia da Ciência que o precederam: da realidade causal de Nancy Cartwright (Cartwright, 1983; Massoni e Moreira, 2014) ao materialismo de J. J. C. Smart (Smart, 1963; Peruzzo e Stroparo, 2019), este assumiu que entidades materiais são blocos de construção do universo; da incomensurabilidade de teorias de Kuhn (2003) e Feyerabend (2011) aos programas de pesquisa de Lakatos (1993), que buscou explicar como a objetividade científica não depende de uma teoria da verdade enquanto correspondência. Hacking (2012) discorreu sobre as diferentes concepções de realidade e sua representação, sobre os embates históricos entre o realismo e o antirrealismo, afirmando que todos sempre foram inconclusivos. Afirmou que escolheu se distanciar da discussão canônica *realidade versus representação*, e decidiu colocar luz na experimentação e manipulação científicas, embora tenha concordado que é impossível responder de forma definitiva sobre o que vem antes: o experimento, a teoria, a invenção, a tecnologia ou o que quer que seja (Hacking, 2012, p. 56).

Em discordância com as visões de Popper (2008) e Hanson (1958), defensores da posição de que “toda observação é carregada de teoria”, Hacking ilustrou seu ponto com trabalhos sobre Astronomia e radiação térmica, mostrando como algumas observações são inteiramente pré-teóricas. Para ele, o significado de observação não é algo que se configura a partir da simples visão: muitas vezes nos referimos à observação em situações que não “vemos” literalmente, ainda assim somos capazes de utilizar informações transmitidas por objetos que foram teoricamente postulados (e.g., telescópios e microscópios).

Para Hacking (2012), a atividade científica de forma alguma se centra na teorização. Além disso, existem variedades de teorias, níveis de teorias (como discutido por Cartwright, 1983) e estas mantêm diferentes relações com os experimentos. Experimentos são importantes para fazer medições, sendo que medições podem ser feitas para testar teorias, para determinar constantes da natureza etc., mas, argumentou Hacking, há experimentos que criam fenômenos que não existiam até então num estado puro. Para ele, experimentos dificilmente são repetidos, em geral são aperfeiçoados até que se obtenha a regularidade dos fenômenos. Ele defendeu que a experimentação tem vida própria: ela envolve, de forma muito variada, elementos como interação com a especulação, com o cálculo, com a construção de modelos, a invenção, a tecnologia. Afirmou que o especulador, o calculador, o construtor de modelos pode até ser antirrealista, mas o experimentador tem que ser realista.

Nessa mesma linha, Franklin (1986) também se ocupou em identificar o papel que os experimentos desempenham na Física, e realizou um estudo detalhado de alguns episódios históricos (e.g., na Física do século XX, década de 1950, a descoberta da não conservação da paridade; o famoso experimento da gota de óleo de Millikan). Para Franklin, é possível oferecer justificativas filosóficas para os diferentes papéis que os experimentos desempenham na Física: são determinantes na escolha entre teorias concorrentes, na confirmação de teorias e na proposição de novas teorias. Os experimentos são tão centrais na ciência, afirmou ele, que é necessário realizá-los com acuidade, e ter boas razões para acreditar em seus resultados. Além disso, Franklin abordou a influência de pressupostos teóricos sobre os dados e o problema da fraude científica. Franklin foi um físico experimental de altas energias, com décadas dedicadas à pesquisa, e sua obra é uma importante referência para a filosofia da ciência experimental.

Retomando a tese de Hacking (2012) – a experimentação cria fenômenos – ele a ilustrou por um relato sobre um equipamento de produção de feixes de elétrons polarizados, que são utilizados para demonstrar as violações de paridade em interações fracas de correntes neutras. A

realidade desses elétrons é tomada como garantida, de forma que, argumentou ele, elétrons se tornam ferramentas de nossa interferência no mundo.

Na edição brasileira de seu mais conhecido livro, Hacking (2012) revisitou algumas proposições e reconheceu que muita coisa mudou desde a publicação original da obra. Exemplificou com a entidade científica *lentes gravitacionais*, apontando que neste caso o argumento experimental (sua tese central!) não se aplicaria. Lentes gravitacionais, afirmou, foram previstas teoricamente por Einstein no início do séc. XX, mas só foram detectadas nos anos 1980. São entidades úteis para obter conhecimento do universo distante, mas não podemos interferir nelas.

Considere que haja uma estrela grande muito longe e uma fonte de luz ainda mais longe atrás da estrela. A luz dessa fonte será desviada pela estrela, talvez em cada lado da estrela, exatamente como a luz é desviada pela reflexão quando passa por uma lente de vidro adequada. Se tivermos sorte, e as condições estiverem corretas, as lentes gravitacionais serão uma forma extraordinária de trazer “para mais perto” objetos distantes, no sentido metafórico em que um telescópio é usado, às vezes, para trazer um objeto distante mais para perto. (Hacking, 2012, p. 46).

Lentes gravitacionais são um bom exemplo de entidades teóricas em que não podemos intervir, bem como os raios cósmicos, utilizados como raios de luz de alta energia para “descobrir” partículas subatômicas – podemos manipular raios cósmicos, mas não as suas fontes. Ondas gravitacionais e raios cósmicos são o tipo de entidades que o argumento experimental para o realismo não poderia ser invocado. Isto, porém, não significa afirmar o antirrealismo das lentes gravitacionais. Ao comparar *lentes gravitacionais* e *elétrons polarizados* Hacking afirmou: *Eu só queria dizer que em 1986 tínhamos mais razões que nos levavam a afirmar a existência de elétrons polarizados do que de lentes gravitacionais* (Hacking, 2012, p. 47). Estas questões serão retomadas ao longo deste texto.

#### **4. Racionalidade e a Filosofia da Ciência Tradicional**

Hacking (2012) fez uma crítica à Filosofia da Ciência ao considerar que os estudos filosóficos eram (até a década de 1980) marcados por disputas polarizadas entre razão e realidade, mas ele disse duvidar que racionalismo e realismo tenham questões igualmente importantes. Reconheceu que foi a partir de Kuhn (2003) que um novo olhar foi lançado ao papel da História da Ciência, e afirmou que uma consequência foi que os filósofos da ciência criaram para si uma “crise da racionalidade”.

O cerne dessa crise teve dois focos: 1) questões epistemológicas (será mesmo a razão o árbitro que determina qual teoria está se aproximado da verdade? O que são boas razões?); 2)

questões sobre a realidade científica, que se movem no campo da metafísica (seriam reais as entidades postuladas pela física teórica? Ou seriam meras construções da mente humana para organizar nossos experimentos?). A crise da racionalidade, argumentou, se deu porque havia concordância (para além das divergências entre as posturas filosóficas) de que a ciência natural era boa e se constituía no melhor exemplo de explicação do pensamento humano. A concordância era tal, que fazia sentido estabelecer um critério de demarcação entre a “boa ciência” e especulações consideradas não científicas (e.g., a falsificação de hipóteses de Popper (2008); a verificação de teorias fundamentadas de Carnap (1967), este um representante do Círculo de Viena). Em suma, tinham em comum a crença de que a terminologia científica é, ou deveria ser, precisa; que poderia haver um método científico universal; concordavam que havia uma grande distância entre o contexto de descoberta e o contexto de justificação, termos estes atribuídos a Hans Reichenbach (1970).

Para Hacking, Kuhn (2003) rejeitou essa imagem, assumindo que a “ciência está no tempo e é essencialmente histórica”; ciência é viva, não possui uma estrutura rígida, ou lógico-dedutiva; os conceitos científicos são vivos, flexíveis e a ciência normal não está em busca de confirmação, verificação ou falsificação, mas é dedicada à articulação de um corpo de conhecimento de algum domínio específico, em dado momento histórico, para fazer a teoria interagir mais satisfatoriamente com o mundo, se abrindo à verificação experimental. Se anomalias graves persistem, pode surgir uma abordagem conceitual totalmente nova, gerando, uma Revolução Científica. Este seria o padrão nas ciências naturais: após uma revolução, grande parte daquela ciência será esquecida, passará a ser objeto de estudo dos historiadores.

Assumi Hacking (2012, p. 71), no entanto, que uma ameaça à racionalidade advém justo dessa forma como Kuhn concebeu a mudança de paradigmas – a comparando a uma conversão religiosa. As ideias de Kuhn ajudaram a gerar uma crise da racionalidade, reforçada mais tarde pelas ideias ainda mais radicais de Feyerabend (2011), para quem nenhum cânone de racionalidade deve haver para restringir a mente humana, que há modos diversos de vida muito proveitosos, e em nada se aproximam da racionalidade científica.

Hacking argumentou que a crise da racionalidade desafiou a imagem pública da ciência e desencadeou reações entre os filósofos da ciência, de resistência ou de inovação, e que isso polarizou o foco dos estudos filosóficos: a razão, a teoria, a representação de um lado; o realismo científico, a observação, a experimentação de outro. Para ele, o discurso da filosofia da ciência foi transformado desde a obra de Kuhn (Hacking, 2012, p. 77).



Frente a esse embate, Hacking afirmou que escolheu discutir o realismo científico, argumentando que seu livro não é sobre racionalidade. Apesar de assumir certo alinhamento às ideias de Laudan (1977), para quem a racionalidade científica reside no poder da ciência em resolver problemas científicos, empíricos e conceituais, Hacking (2012, p. 76) afirmou: *E prossigo para obter uma conclusão oposta à de Laudan: a questão da racionalidade é de pouca importância para a Ciência.*

## 5. Realismo Científico e Antirrealismo

Afastando-se da polarização que permeava os estudos filosóficos da ciência, Hacking entendeu ser fundamental discutir o sentido de realismo científico e antirrealismo.

O ‘realismo científico’ diz que entidades, estados e processos descritos por teorias corretas realmente existem. Prótons, fótons, campos de força e buracos negros são tão reais quanto unhas, turbinas, redemoinhos nas águas de um rio ou vulcões, e as interações fracas da física de partículas são tão reais quanto se apaixonar. (Hacking, 2012, p. 81).

O realismo admite que as ciências naturais chegam perto da realidade: a meta de um realista é descobrir a constituição interna das coisas, conhecer tudo o que habita o universo, em seus cantos mais distantes. Essas questões já foram tratadas pelo filósofo da ciência Pierre Duhem (2014), para quem as teorias físicas e as filosofias têm proposições e termos independentes.

Ele dizia que o antirrealismo afirma o oposto: *coisas como os elétrons não existem, nossa construção teórica sobre minúsculos estados, processos e entidades se dá apenas de modo a possibilitar previsões e produzir eventos pelos quais nos interessamos* (Hacking, 2012, p. 81). Um antirrealista assume uma postura instrumentalista, toma as teorias como ferramentas do pensamento, adequadas, úteis e aplicáveis, mas não importa o triunfo especulativo de uma teoria, mesmo a mais convincente não pode ser considerada verdadeira, pois uma teoria não fará relatos literais de como o mundo é. Para o antirrealista, entidades teóricas como os fótons, os elétrons, ou as cadeias moleculares são modelos que nos ajudam a organizar mentalmente os fenômenos, mas não são uma imagem literal de como as coisas são.

Nesse sentido, Hacking se dizia, como já apontado, um realista científico. Ele assumiu que foi capturado pelo realismo científico quando um amigo descreveu-lhe um experimento científico utilizado para detectar cargas elétricas fracionárias (os quarks)<sup>3</sup>. Explicou que o experimento de

---

<sup>3</sup> Em uma entrevista a Matteo Vagelli (Vagelli, 2014), Hacking disse que os eventos intelectuais mais importantes que lhe aconteceram na Universidade de Stanford foram: trabalhar e fazer amizade com dois cientistas, Francis Everitt e Melissa



Millikan, em 1908, consistiu em observar o movimento de uma gota de óleo carregada e deixada cair entre duas placas eletricamente carregadas. No experimento, o campo elétrico inicialmente é desligado e, em seguida, é aplicado; combinado com a viscosidade e densidade do ar; o campo é então variado até que as gotas fiquem suspensas. Como conhecemos a gravidade e o campo elétrico, é possível calcular a carga da gota. O que Millikan observou, repetindo muitas vezes o experimento, foi que sempre se obtém valores múltiplos de uma carga mínima – esta foi tomada como sendo a carga do elétron. Por muito tempo o elétron (carga  $e$ ) foi considerado a unidade mínima de carga. Com o desenvolvimento da física de partículas surgiu a ideia de uma entidade, o quark, que possuiria carga fracionária,  $1/3e$ . Hacking explicou que cientistas como LeRue, Fairbank e Hebard, em Stanford, se inspiraram em Millikan para criar um experimento para detectar quarks “livres”. Quarks não têm existência independente, são raros e têm vida muito curta. Para aumentar as chances de encontrá-los, esses cientistas usaram uma gota muito maior (que a de Millikan) de nióbio, que congelado a uma temperatura aproximada de 9K, mostra uma transição condutora. Dessa forma, quando uma carga elétrica é incitada ao seu redor (e.g., bombardeando a gota com pósitrons pode-se aumentar a carga, ao passo que, com elétrons pode-se diminuí-la), ela permanece se movendo indefinidamente, flutuando no campo magnético. A carga inicial da gota de nióbio é, então, gradualmente alterada até que seja possível determinar se a transição de uma carga negativa para uma carga positiva, ocorre em  $0e$  ou em  $\pm 1/3e$ . Quando isso acontece é porque existe um quark livre na gota, de forma que o experimento pode, assim, relatar cargas fracionárias.

Hacking afirma que se tornou um realista científico, pois, *até onde eu sei, se você pode bombardeá-los, então eles são reais* (Hacking, 2012, p. 84).

De fato, o que me convenceu a respeito do realismo nada tem a ver com quarks, foi o fato de que agora existem emissores padrão com os quais podemos fazer bombardeios de pósitrons e elétrons – e é exatamente isso que fazemos com eles. Entendemos os efeitos, as causas e utilizamos isso para efetuar uma descoberta a respeito de outra coisa. (Hacking, 2012, p. 84).

Para ele, o questionamento sobre o realismo é recorrente na história do conhecimento: qual o significado de “verdadeiro” e “real”? O que significa dizer que uma teoria é verdadeira ou falsa? Devemos dizer que as partículas da mecânica quântica têm uma posição e um momentum definido, mas indeterminado? Estas questões dizem respeito às formas de pensar os conteúdos das ciências

---

Franklin, pois eles lhe ensinaram o que estava acontecendo na física contemporânea. Disse que sem essa proximidade com alguns físicos experimentais, não teria tido a sensibilidade de escrever *Representar e Intervir*, e que alguns capítulos (e.g. microscópios), resultaram de uma colaboração com Richard Skaer no laboratório do Medical Research Council para Biologia Molecular.

naturais. Existem exemplos nas Artes e na Literatura: campos em que a palavra “realismo” deixa de ter conotações filosóficas e denota movimentos artísticos. Por exemplo, alguns pintores do séc. XIX se recusaram a pintar temas idealizados, românticos, harmoniosos, religiosos e históricos, preferindo cenas da vida cotidiana, ou seja, trocaram o belo e harmonioso pelo feio e repugnante do cotidiano vivido.

Inspirado nesses movimentos artístico-culturais, Hacking (2012, p. 87) afirmou que era de movimentos que estava falando, não de doutrinas. Movimentos expressam trabalho criativo sendo realizado. Uma característica que denota um movimento (científico, cultural, filosófico etc.) é a de se opor à forma de pensar do período que o precede. É com esse olhar que Hacking se referiu ao realismo científico e ao antirrealismo: ambos são movimentos. Explicou que não teve a pretensão de entrar em definições filosóficas e enumeração de divergências para discuti-los – optou por discutir o realismo científico.

Para Simons e Vagelli (2021), o livro de Hacking *Representar e Intervir* é frequentemente considerado um dos primeiros trabalhos a enfocar o papel da experimentação na filosofia da ciência, catalisando um movimento que às vezes é chamado de “filosofia do experimento”, da década de 1980. Nesse período, outros movimentos também começaram a enfocar o papel da experimentação, e dos instrumentos na ciência. Os autores, através de uma revisão histórica, dizem que essa assunção é problemática porque a experimentação já era tema de filósofos anteriores, mas reposicionam a filosofia da experimentação e apontam que Hacking foi figura central no debate realismo-antirrealismo.

Existem dois tipos de realismo científico: o realismo de teorias e o realismo de entidades. O realismo de teorias envolve questões sobre se as teorias são verdadeiras, se almejam a verdade – e verdade é como o mundo é. A maioria dos estudos filosóficos se preocupou com a teoria, a representação e a verdade: se acreditamos que uma teoria é verdadeira, então acreditamos que as entidades supostas por essa teoria (partículas, campos, processos, estruturas, estados etc.) existem. Hacking disse que é possível assumir uma postura realista em relação à teoria e ser antirrealista em relação às entidades: uma teoria pode ser reescrita utilizando lógica, de forma que as entidades por ela supostas emergem como construções lógicas, isto é, o termo “quark” não denotaria os quarks; seria apenas uma abreviatura complexa para fazer referência a fenômenos observados (Hacking, 2012, p. 88). Também é possível assumir o realismo de entidades e ser antirrealista em relação à teoria: temos boas razões para supor que elétrons existem, mas não temos a mesma completude para descrever o que são; assim, utilizamos diferentes modelos de elétrons para diferentes propósitos.

O realismo de entidades implica que uma entidade teórica satisfatória deve ser uma entidade existente, e não apenas uma ferramenta intelectual eficiente.

Trata-se de uma afirmação que diz respeito às entidades e à realidade, e também implica que nós realmente conhecemos entidades desse tipo por meio da ciência atual – ou que, ao menos, temos boas razões para acreditar que as conhecemos. E isso é uma afirmação a respeito da realidade. (Hacking, 2012, p. 89).

Ele assumiu que empreendeu em seu livro um movimento que ia do realismo de teorias em direção ao realismo de entidades, do tipo utilizado em trabalhos experimentais. Assumiu que a ciência tem dois objetivos: teoria e experimento. Teorias dizem como o mundo é, representam o mundo. Experimentos mudam o mundo, interveem no mundo. Este seria o sentido de *representar e intervir*. Representar para intervir, isto é, ao bombardearmos gotas de nióbio com pósitrons, o antirrealismo esmorece (Hacking, 2012, p. 93).

## 6. A Linguagem e as Representações da Realidade

Antes de abordarmos o “intervir”, consideramos que é importante fazer algumas considerações sobre a linguagem. Hacking (1999, p. 157) afirmou que a linguagem é de grande interesse às reflexões filosóficas e linguísticas sobre: verdade, realidade, existência, lógica, conhecimento, necessidades, sonhos, ideias; assim como sobre liberdade, indução, intenção, consciência, ação etc. Assumiu que não há, nem precisa haver uma resposta geral, verdadeira, interessante a essas questões e que, mesmo que houvesse, não haveria concordância imediata. Ainda assim, ele disse querer entrar no debate após analisar as ideias de doze filósofos (e.g., Thomas Hobbes, Port Royal, Berkeley, Noam Chomsky, Bertrand Russel, Ludwig Wittgenstein, Paul Feyerabend, Davidson e outros). Para ele, uma visão geral desses estudos permite classificá-los em três grupos: o apogeu das ideias; o apogeu dos significados e o apogeu das sentenças. Assumiu que a filosofia do séc. XVII ocupou-se das ideias, ao passo que a filosofia contemporânea se ocupa das sentenças; as sentenças têm a mesma estrutura (análoga a uma rede de nós), com conteúdo diferentes (Hacking, 1999, p. 158).

Ele explicou que as ideias foram os objetos de nosso filosofar; as conexões entre as ideias eram expressas no discurso mental e formavam representações da realidade, que respondiam a mudanças na experiência. Na discussão atual, o discurso público substituiu o discurso mental, pois a “sentença” é hoje o objeto simples (ingrediente do discurso público) visto como fundamental na explicação da verdade, significado, experimento e realidade.

O “saber” seria um tecido de sentenças. As sentenças no tecido do discurso público são os artefatos do sujeito cognoscente: são responsáveis pela representação da realidade em um corpo de conhecimento. Nesse sentido, *a sentença parece ter substituído as ideias* (Hacking, 1999, p. 159). Asseverou que não se trata de uma transição local (ideias para sentenças), mas que houve uma transformação dos nossos modos de entendimento.

O próprio conhecimento – que não é mais o que era, segundo Hacking – foi a força primária que provocou a transformação do apogeu das ideias para o das sentenças. Conhecemos mais do que nossos predecessores, conceitualizamos diferentemente, e a natureza do conhecimento mudou. O conhecimento é um tecido de sentenças. Leibniz foi o primeiro filósofo da nossa era a reconhecer que a prova matemática não é uma questão de conteúdo, mas é constituída por relações formais no interior de uma sequência de sentenças.

Para Hacking (1999), houve uma evolução da natureza do próprio conhecimento, de forma que se pode dizer que o apogeu do significado (enunciados que tornam possível explicar o estoque comum de pensamentos transmitidos de geração em geração) é o estágio inicial de uma disciplina nova - a epistemologia. Afirmou que um sumário de epistemologia remonta aos pré-socráticos, mas a palavra “epistemologia”, em inglês, surge em 1854.

A assim chamada epistemologia começa quando se reconhece que o conhecimento é público, e não simplesmente um modo de existência da “natureza humana”, “entendimento”, “razão”. A epistemologia precisa de um objeto, seu objeto é o conhecimento, e o conhecimento só recentemente foi concebido como um objeto autônomo. (Hacking, 1999, p. 164).

Ele explica que foi nesse período histórico que se criaram associações para o desenvolvimento da ciência, e que o pensador antes chamado filósofo natural passou a ser chamado de físico.

Hacking (1999, p. 176) apontou que muito já se escreveu sobre o papel da linguagem, pois as traduções entre linguagens ou teorias é que permitem que a “igualdade de significados” tenha alguma eficácia. Feyerabend e Kuhn, por exemplo, sustentavam que a tradução entre teorias é muito difícil, que é preciso dominar a teoria como ela se apresenta, não a traduzir em uma outra. Ele argumentava que embora a resposta seja inconclusiva, sentenças não são supremas, são entidades linguísticas (texto, discurso) que têm significados. O conhecimento científico é discurso público que se tece com o tecido das sentenças, os significados das sentenças importam para tornar possível seu compartilhamento. Porém, Hacking asseverava que sentenças não são a realidade. Sentenças (a

linguagem) interessam à filosofia porque servem como interface entre o sujeito cognoscente (o cientista) e aquilo que é conhecido (a realidade). Para ele, “a linguagem interessa à filosofia por causa daquilo em que o conhecimento se tornou” (Hacking, 1999, p. 183). Acrescentou que o discurso não é mais só um instrumento através do qual se compartilham experiências, conceitos; nem é a interface entre conhecedor e o conhecido, mas é aquilo que constitui o conhecimento humano.

## **7. O Experimento**

Em sua percepção (Hacking, 2012, p. 235), os filósofos da ciência focam suas discussões nas relações entre teorias/representações da realidade, mas pouco dizem a respeito dos experimentos, da tecnologia e da utilização do conhecimento para alterar o mundo. Sua estratégia foi enfocar o experimento, a observação, os fenômenos, os instrumentos (e.g., compreender o surgimento e o papel dos microscópios).

Através de um resgate histórico, Hacking afirmou que valor foi dado ao experimento no século XVII, na discussão introduzida por Francis Bacon (1561-1626), que defendia que não basta observar, é preciso manipular o mundo para desvendar suas regularidades; e que essa forma de compreender e explorar a natureza produziu uma revolução científica naquele século, contribuindo inclusive para a criação de novas instituições científicas. Um exemplo foi a fundação, em 1660, da *Royal Society*, em Londres, que inspirou outras academias. Surgiu, assim, uma nova forma de comunicação – os periódicos científicos. Os primeiros artigos publicados nesses periódicos traziam certa quantidade de matemática e de teoria, mas basicamente narravam fatos, experimentações, observações e deduções a partir dos experimentos. Contudo, Hacking apontou que os tempos mudaram: hoje a História das Ciências da Natureza se baseia na teorização, e a filosofia da ciência é uma filosofia da teoria.

Disse esperar, com seus escritos, poder criar um movimento de retorno à ciência experimental. Não precisamos ser contra os experimentos, pois *A experimentação possui vida própria* (Hacking, 2012, p. 236).

Argumentou que a experimentação e a observação são dignas de atenção, embora tenha reconhecido que o preconceito a favor da teoria é antigo. Todos conhecemos um pouco sobre a filosofia grega, mas quem sabe algo sobre a metalurgia grega? Em tempos mais recentes, estudamos a Lei de Boyle (o modelo de gases como bolinhas saltitantes), mas desconhecemos que foi um experimentador da *Royal Society* – Robert Hooke (1635-1703) foi quem construiu o artefato que

permitiu a Boyle estudar experimentalmente a expansão dos gases. Argumentou Hacking que Boyle era um nobre, ao passo que Hooke era um autodidata de origem humilde. O resultado é que Boyle (o teórico) está nos livros de texto desde o ensino fundamental, mas Hooke (o experimentador), apesar de ter feito outras grandes contribuições como, por exemplo, a construção de um telescópio de reflexão que permitiu identificar novas estrelas e ver que Júpiter girava em torno de seu próprio eixo, introduzindo novas ideias na Ciência, é um desconhecido para a maioria. Temos uma tendência de desprezar o experimento. Além disso, *A diferença de status entre teoria e experimento é modelada segundo o esquema de classes sociais* (Hacking, 2012, p. 238).

Outro ponto muito discutido em Filosofia da Ciência é a questão da existência, ou não, de um “método científico”, ou se o “método científico” seria o mesmo que método experimental? Para Hacking esta é uma questão mal colocada. Todos entendemos que não há uma única maneira de construir uma casa, ou de cultivar tomates, então por que deveria haver uma única forma de se fazer algo tão complexo como a ciência? Essa discussão, que se estendeu por mais de um século, é exemplificada por duas posições divergentes: Carnap (1967) versus Popper (2000), em particular na edição de sua obra *A lógica da Pesquisa Científica*, em 1934: Carnap defendia que a ciência se fundamenta na indução, Popper, na dedução; para Carnap a observação é fonte de conhecimento, mas Popper afirmou que todo experimento é precedido por uma teoria.

Para Hacking (2012, p. 240), tal afirmação *é, na verdade, ambígua; tem uma versão fraca e uma forte*. A versão fraca diz que precisamos de alguma ideia a respeito da natureza e do aparato antes de conduzir um experimento. A versão forte diz que um experimento só tem significado se estivermos testando uma teoria a respeito do fenômeno observado. Para ele, além de ambígua era uma afirmação falsa, pois podemos conduzir um experimento simplesmente por curiosidade, para ver o que vai acontecer. A pergunta frequente nas discussões epistemológicas (o que vem antes, teoria ou experimento?) tornou-se polêmica frente aos veementes esforços de Popper em defender a primazia da teoria.

Hacking discordou da afirmação popperiana de que deve haver uma conjectura a ser testada para que um experimento faça sentido.

Ele ofereceu contraexemplos (em geral dirigidos a Popper) da Química Orgânica e da Óptica para mostrar que houve diferentes tipos relações entre teoria e experimento em diferentes estágios do desenvolvimento científico. Além disso, afirmou que nem todas as ciências naturais passaram pelos mesmos estágios. Um exemplo, no campo da Óptica, remete à observação de fenômenos surpreendentes, em torno de 1600, com o cristal “espato irlandês”, que apresenta dupla

refração – hoje sabemos que esse cristal foi o primeiro produtor conhecido de luz polarizada –, mas à época era uma observação para a qual não havia teoria. Uma compreensão mais detalhada do fenômeno foi proposta por Huygens, e um detalhamento teórico teve que esperar a teoria ondulatória da luz (Fresnel – 1788-1827). Ele cita também que as primeiras observações de difração da luz (Grimaldi – 1613-1663) e de dispersão da luz (Hooke e Newton) foram eventos que precederam as teorias, pois as teorias só vieram cerca de um século depois, com Thomas Young, em 1802. Para Hacking (2012, p. 244), estava claro que Grimaldi, Hooke e Newton “viram o que viram por serem pessoas curiosas, inquisitivas, reflexivas”, e estavam tentando formar teorias. Porém, o que esses casos históricos têm em comum é o fato de que as observações não foram precedidas por nenhuma formulação teórica.

Não estou querendo dizer que observações importantes, por si mesmas, fazem alguma coisa. Muitas vezes, acontece de um fenômeno chamar a atenção geral, mas ninguém conseguir entender o que ele quer dizer, como ele se conecta com outros fenômenos (...). Em 1827, o botânico Robert Brown relatou ter observado um movimento estranho em pólen suspenso em água. Esse movimento browniano já tinha sido observado cerca de sessenta anos antes ... somente na primeira década do século XX ... descobriu-se que o pólen estava sendo empurrado com pelo choque com moléculas... (Hacking, 2012, p. 245).

A História da Ciência é rica em oferecer esses exemplos de observações surpreendentes (e.g., o efeito fotoelétrico, a detecção da radiação de fundo como energia residual do Big Bang etc.) para as quais não tínhamos teorias e muito tempo depois se converteram em informações que sustentam teorias importantes. Ele admitia que, em alguns casos, trabalhos experimentais profundos são gerados exclusivamente pela teoria, assim como algumas teorias surgem de experimentos pré-teóricos; outras teorias acabam morrendo por falta de contato com o mundo real, da mesma forma que alguns experimentos ficam esquecidos por falta de teoria. Para ele, a relação experimento-teoria é tal que um reforça o outro, e grandes avanços na ciência ocorrem na intersecção entre a teorização e a observação bem feita, de forma que nenhum desses polos pode ser desvalorizado na ciência. Contudo, é notável que poucos são os ganhadores de Prêmio Nobel na Física que eram experimentadores.

## 8. A Observação

Outra concepção comum entre filósofos da ciência de herança positivista é que: *A observação, como fonte primária de dados, sempre foi parte da ciência natural, apesar de não ser tão importante*



(Hacking, 2012, p. 255). Apesar das discussões a respeito da observação serem uma herança positivista, advertiu que nem mesmo Francis Bacon (patrono da indução no livro *Novum Organum*) falava muito da observação, tendo se limitado a fazer uma lista do que chamava de “instâncias prerrogativas” – seria o equivalente ao que hoje chamamos de experimentos cruciais. Grande parte da lista de Bacon dizia respeito ao uso de dispositivos de “evocação”, como telescópios, varas, astrolábios etc. Estes dispositivos faziam sensível aquilo que não era sensível. Foi a partir de 1800, com os positivistas, que a concepção de “ver” sofreu uma transformação: “ver” passa a significar ver a superfície opaca das coisas (Hacking, 2012, p. 257), pois o real restringe-se ao observável. O positivista utiliza a lógica para “reduzir” as sentenças teóricas a um sistema de abreviação capaz de expressar os fatos e organizar os pensamentos a respeito do que pode ser observado. “Reduz” porque, para o positivista, uma teoria pode ser aceita por suas virtudes pragmáticas (e.g., fazer previsões) sem que se precise acreditar que seja verdadeira. Assim, o positivista coloca uma diferenciação entre teoria e observação.

Hacking discordou dessa diferenciação, e argumentou que dar importância à distinção entre teoria e experimentação é abrir caminho para que tal distinção seja negada. A partir de 1960 houve uma explosão de respostas a respeito dos fundamentos dessa negação. Ele cita um artigo de Grover Maxwell (1962), que negava qualquer distinção fundamental entre observação e entidades teóricas, e argumenta a favor de uma continuidade visual.

Particularmente, Maxwell nos diz que o que existe é um processo contínuo que começa com a visão através de um vácuo. Em seguida, vem a visão através da atmosfera, e, depois, a visão através de um microscópio leve. No presente, esse processo vem terminar com a visão através de microscópios de varredura. Objetos como genes, que antes eram meramente teóricos, foram transformados em entidades observáveis. (Hacking, 2012, p. 259)

Para ele, a discussão de Maxwell continua em aberto, pois ela torna necessário discutir algumas tecnologias que são tomadas como dadas a respeito de microscópios, que será abordada mais adiante neste texto. De qualquer modo, ele se disse alinhado a Grover Maxwell no sentido que a “visibilidade” (ato de “ver”) não pode ser tomada como uma base para a ontologia. Argumentou que os físicos comumente falam em “observar” ou “ver” através de dispositivos cuja utilização não envolve nem os olhos nem nenhum outro sentido (e.g., falam em “observar” o interior do Sol utilizando neutrinos emitidos pelo processo de fusão nuclear). Intui-se, então, que o que conta como observação depende das teorias das quais dispomos.

Em suma, assumiu que o que o positivismo fez foi aguçar a distinção entre teoria e observação, mas ele discutiu uma posição filosófica ainda mais radical, que ele chamou de tendência idealista – que diz que toda a observação é carregada de teoria, da qual discordava. Opôs-se às ideias de seus propositores: Popper e Lakatos (no que diz respeito aos argumentos de Lakatos, eu os considero incrivelmente superficiais e sem qualquer efeito (Hacking, 2012, p. 261)), e Hanson (1958), para quem toda sentença observacional pode ser considerada possuidora em si alguma teoria. Entendeu que este tema remete a uma discussão linguística; tendemos a perceber as coisas só quando temos alguma expectativa teórica que nos faz vê-las como mais interessantes, mas isto, apesar de ser verdade, não sustenta a posição “observação é carregada de teoria”. Observação e experimento não são a mesma coisa, tampouco polos opostos de um contínuo bem definido (Hacking, 2012, p. 263). O fato é que, diferentemente das teorias, são poucos os experimentos que tiveram o mérito de ficar na história<sup>4</sup>.

## 9. Os Microscópios

Uma das formas de expandir os sentidos, na pesquisa científica, é utilizar telescópios e microscópios. Hacking (2012) apontou que podemos dizer que “vemos” com um microscópio, mas esta é uma questão não trivial.

Um de meus professores, que era principalmente um técnico que tentava construir microscópios melhores, despreocupadamente observava: “A microscopia do raio X é, hoje, a principal interface entre a estrutura atômica e a mente humana”. Para entender a eloquência de uma sentença como essa, os filósofos da ciência que discutem o realismo e o antirrealismo precisam conhecer um pouco mais sobre microscopia. (Hacking, 2012, p. 279)

---

<sup>4</sup> É notável o relato que Hacking (2012, p. 270) faz das habilidades de observar de Caroline Herschel – irmã de William Herschel, um influente astrônomo dos anos 1800. Diz que ela descobriu mais cometas do que qualquer outra pessoa na história – foram oito no mesmo ano – e que vários aspectos contribuíram para esse feito. Ela era incansável e sempre que o céu noturno se abria estava lá; ela utilizava um dispositivo que lhe permitia varrer o céu, fatia por fatia, e quando detectava a “olho nu” algo interessante tinha a sua disposição telescópios para examinar com cuidado o novo objeto. Tamanha foi a habilidade que desenvolveu que conseguia reconhecer imediatamente um cometa, que são objetos celestes que têm trajetórias parabólicas. Para Hacking, isso não significa que ela era um “autômato irracional”, mas, ao contrário, Caroline possuiu um vasto conhecimento de Cosmologia e tinha uma das mentes mais especulativas de seu tempo; tinha grande curiosidade e queria saber mais acerca do universo. Hacking (2012, p. 272) diz que não havia como colocar em questão as habilidades de observar de Caroline, a não ser ela mesma ou seu irmão, pois os seus julgamentos (sobre ter achado novos cometas) tornaram-se válidos no contexto da rica vida científica de seu tempo, da aceitação de sua habilidade de lidar com telescópios. Infelizmente pouco se sabe ainda hoje sobre a história e a contribuição desta mulher na ciência.

Os microscópios funcionam de maneira muito diferente do que supõe a maioria dos leigos. Não se conseguirá ver nada através de um microscópio antes de termos um aprendizado prático e ativo. Em analogia com a visão de um mergulhador, Hacking afirmou que a única forma de um mergulhador aprender a ver no meio oceânico é praticando o mergulho (p. 283). Demorou-se para compreender o funcionamento de um microscópio. Contribuições importantes foram feitas por Ernst Abbe (1840-1905), mas o presidente da Sociedade Real de Microscopia, à época, reagiu imediatamente aos escritos de Abbe; sua resposta foi mencionada por anos por Simon Henry Gage (1851-1944), nas mais de dezessete edições de seu livro *The Microscope* (GAGE, 1901), que, por muito tempo, foi a principal fonte americana de textos sobre microscopia.

Hacking (2012) desenvolveu seu raciocínio baseado em duas citações sobre os microscópios, [A] e [B]:

[A] (retirada de GAGE, 1901): Ele demonstra que a visão microscópica é ‘sui generis’. Não existe, nem pode existir qualquer comparação entre a visão microscópica e macroscópica. As imagens dos minúsculos objetos não são delineadas microscopicamente por leis ordinárias da refração; não são resultados dióptricos, mas dependem inteiramente da difração. (Hacking, 2012, p. 281, tradução nossa).

[B]: O microscopista pode observar um objeto familiar em um microscópio de baixa potência e ver uma imagem aumentada que é “igual” ao objeto. Um aumento mais elevado pode revelar detalhes desse objeto que eram invisíveis a olho nu; é natural assumir que eles também são “iguais” ao objeto (...). Mas o que é realmente implicado pela declaração de que “a imagem é igual ao objeto”?

Obviamente a imagem é puramente um efeito óptico (...). A “igualdade” ou identidade entre o objeto e a imagem de fato indica que as interações físicas com o feixe de luz que tornam o objeto visível a olho nu (ou que o tornariam visível se seu tamanho for suficiente) são idênticas àquelas que levam à formação de uma imagem no microscópio (...)

Suponhamos, entretanto, que a radiação usada para formar a imagem seja um feixe de luz ultravioleta, de raios X, ou de elétrons, ou que o microscópio empregue um dispositivo que converta diferenças de fase em diferenças de intensidade. A imagem, nesse caso, não poderá ser possivelmente “igual” ao objeto (...). O olho humano é incapaz de perceber radiação ultravioleta, de raio X, ou de elétrons e também não pode detectar alteração de fase entre os raios de luz (...). Essa linha de raciocínio revela que imagem deve ser um mapa de interações entre o espécime e a radiação utilizada para produzir a imagem. (Slayter, 1970 apud Hacking, 2012, p. 284, tradução nossa)

Para ele, a citação [A] foi formulada por uma geração anterior, à qual a visão do microscópio deve ser dita “sui generis” porque o microscópio comum trabalhava por difração. Na citação [B], o fato de “imagem” e “igualdade” estarem entre aspas sugere uma ambivalência maior

(imagem algumas vezes denota algo como uma forma lançada numa tela, um micrográfico etc., mas, em outras situações, denota algo do mesmo tipo das informações fornecidas ao próprio olho humano). Para Hacking, a síntese entre as perspectivas [A] e [B] é dada pela óptica geométrica, na qual se apresenta o sistema com o espécime em foco juntamente com uma “imagem” no plano focal, que indica o que será visto quando uma determinada área for focalizada.

Hacking, contudo, disse discordar em parte da citação [B] porque ela sugere que qualquer declaração a respeito do que é visto com um microscópio estaria carregada de teoria, impregnada com os nossos conhecimentos acerca da óptica e da radiação. Para ele, precisamos de teoria para construir um microscópio, mas não para usá-lo. É possível aprender empiricamente. Dificilmente um biólogo sabe tanto de óptica como um físico, mas a prática, o fazer, a atividade, e não o olhar, cria a habilidade de distinguir entre as interferências produzidas pelo instrumento e a estrutura real daquilo que está sendo visto com o microscópio. As observações e manipulações com o microscópio raramente estão carregadas de teoria, e nos poucos casos em que estão, as teorias são independentes das células ou cristais em estudo – são necessários micrótomos para cortar os espécimes em fatias finas, corantes para fornecer coloração (matéria viva é em sua maioria transparente), cola para prender os espécimes (animal ou vegetal), fontes de luz, fixadores, centrífugas, micrômetros de rosca para ajustar o foco. *Tudo isto é necessário para que o microscópio consiga mostrar mundos dentro dos mundos* (Hacking, 2012, p. 286).

Além disso, ele discutiu que todo o microscópio tem aberrações. Em um nível mais básico, na microscopia de luz há cerca de oito tipos de aberrações, destacam-se a aberração esférica e a cromática. A esférica está associada ao polimento das lentes, e faz com que um raio de luz seja ligeiramente deslocado do eixo, não tendo o foco exatamente no mesmo lugar que um raio muito próximo ao eixo. Para corrigir isto é preciso combinar lentes côncavas e convexas, mas tal combinação levou muito tempo para ser confeccionada. A aberração cromática é causada por diferenças no comprimento de onda que caracterizam as diversas cores, de forma que luz azul e vermelha formam foco em pontos diferentes, o que resulta numa imagem vermelha sobre uma mancha azul, ou vice-versa. Desta forma, quando duas pessoas observam em condições de obscuridade, cada observador vê à sua maneira. Ele argumenta que os melhores microscopistas sabem que é importante produzir/ter lentes para cada tipo de espécime a ser examinado, técnicas de iluminação e lâminas adequadamente preparadas para poder “ver” alguma coisa; contam também as habilidades, pois “na ciência experimental, um técnico realmente habilidoso pode fazer milagres com o pior dos equipamentos” (Hacking, 2012, p. 287).

Ele escreveu que microscópios têm uma longa história, desde o século XVII, na Inglaterra, mas foi Abbe (1881) quem conseguiu explicar melhor como funcionavam. Abbe era alemão e professor de Matemática, Física e Astronomia, e interessou-se pela resolução, que está associada à difração<sup>5</sup>. A estratégia de Abbe foi utilizar redes de difração<sup>6</sup>.

Quando a luz atinge uma rede de difração, a maioria dos raios é difratada, em vez de ser transmitida. Assim, a luz é emitida pela rede em ângulos de difração de primeira, segunda e terceira ordens, onde os ângulos de raios difratados são, em parte, uma função das distâncias entre as linhas da rede. Abbe percebeu que, para as fendas na rede poderem ser vistas, seria necessário ver pelo menos os raios difratados de primeira ordem. O que pode ser visto, de fato é mais bem representado como uma síntese de Fourier dos raios transmitidos difratados. Assim, de acordo com Abbe, a imagem do objeto é produzida pela interferência das ondas de luz emitidas pela imagem principal e as imagens secundárias da fonte de luz, as quais são o resultado da difração. (Hacking, 2012, p. 290)

Para aumentar a resolução e evitar a aberração dentro de determinada abertura das lentes objetivas, o espécime pode ser colocado em um meio mais denso que o ar: óleo, por exemplo. Para ele, os microscópios de Abbe-Zeiss eram bons, mas houve grande resistência à sua teoria; os melhores produtores ingleses de microscópios na década de 1910 se mantinham enraizados à antiga doutrina: a visão microscópica era idêntica à realizada a olho nu – em oposição a Abbe, citação [A], que considerava incomparáveis as visões microscópica e macroscópica. Para ele, quem concorda com [B] precisa modificar sua noção de ver.

À medida que os biólogos aprenderam mais sobre as células (descobriram, por exemplo, que o material vivo sofre variações nas propriedades de polarização, ou birrefringência), novos elementos foram incorporados ao microscópio, como um polarizador (transmite luz polarizada) e um analisador (colocado a um ângulo reto com relação ao polarizador a fim de transmitir apenas luz polarizada com propriedades contrárias a do polarizador), pois se o espécime observado é birrefringente produzirá uma imagem, por exemplo, das fibras transparentes de músculo estriado sem usar corantes. Dessa forma, os microscópios de polarização levaram a uma revolução conceitual.

Uma variedade de tipos de microscópio foi sendo desenvolvida, e que trouxe maior convicção de que o que estava sendo visto estava, na verdade, no espécime e não é fruto da utilização de aparelhos. Um dos argumentos que fortaleceu esta convicção foi que é possível observar os

---

<sup>5</sup> Difração ocorre quando a luz (onda) encontra um obstáculo e atravessa um orifício, ou uma fenda, com dimensões equivalentes ao seu comprimento de onda, e contorna a fenda; ocorre então a formação de padrões de imagens, com máximos de iluminação cercados por regiões sem iluminação (os máximos e mínimos).

<sup>6</sup> Redes de difração, para Hacking (2012, p. 298) são produzidas em massa e a técnica de fabricação é perfeitamente conhecida e confiável.

mesmos traços fundamentais por meio de diferentes instrumentos. Por exemplo, microscópios de ultravioleta conseguem duplicar o poder de resolução, há os microscópios de fluorescência, microscópios de contraste de fase (convertem diferenças invisíveis no índice de refração em diferenças visíveis de intensidade na imagem do espécime), microscópios de interferência (utilizam um espelho prateado só até a metade, de forma que só metade da luz atravessa o espécime e a outra metade é recombinada para a imagem de saída), os microscópios eletrônicos (que permitem digitalizar e retransmitir a imagem em uma tela de televisão, por exemplo). Estas e muitas outras variações usam a luz, exploram diferentes aspectos fenomenológicos da luz, mas há os microscópios acústicos, que utilizam a conversão dos sinais elétricos em sinais sonoros, “som” de frequência muito alta (tipicamente mil vezes maior que o som audível), que depois de interagirem com o espécime são novamente reconvertidos em eletricidade. Diferentes instrumentos permitem discernir uma mesma estrutura. Somos capazes de isolar o caráter de interferência da fase da luz, conhecemos bem a óptica, interpretamos o rastreamento do microscópico acústico, para poder dizer “isto é real”, em vez de “isto é uma produção artificial”.

Esta razão, contudo, não é conclusiva. Mas essa situação não é diferente daquela que envolve a visão normal. Se vemos manchas pretas na estrada de cascalho em um dia quente e continuamos vendo essas manchas no mesmo lugar de diversos pontos diferentes, concluímos que o que estamos vendo são poças, e não a familiar ilusão de óptica. Podemos, ainda assim, estar errados. (Hacking, 2012, p. 300)

Argumentou que se cometemos erros também na percepção macroscópica, então, pelo argumento de coincidência (já que observamos uma estrutura no espécime utilizando vários tipos de aparelhos), temos boas razões para afirmar que podemos ver através de microscópios. Ele admitia que apenas uma compreensão teórica maior sobre a natureza do espécime pode fornecer um relato convincente acerca da realidade do está sendo mostrada (por exemplo, convencemo-nos da realidade dos filamentos nos cromossomos não apenas porque podemos vê-los, mas porque estamos em condições de formular concepções a respeito do que eles fazem e para que servem). Ver através do microscópio é um argumento visual muito convincente, mas é apenas um elemento, que deve ser combinado com outros modos, de compreensão intelectual e de diferentes tipos de trabalho experimental.

Isso coloca uma questão: falar sobre visão em microscopia, implica um comprometimento com o realismo da microscopia? Para Hacking o que verdadeiramente importa não é ter uma resposta positiva ou negativa.

Estamos convencidos a respeito das estruturas que parecemos ver porque podemos interferir nelas fisicamente, por exemplo, por técnicas de microinjeção. Estamos convencidos porque os instrumentos, por meio de princípios físicos completamente diferentes, possibilitam que observemos as mesmíssimas estruturas no mesmo espécime. Estamos convencidos também, devido ao nosso claro entendimento de grande parte da física que utilizamos para construir os instrumentos que nos permitem ver, mas essa convicção teórica tem apenas um papel muito superficial. O que realmente nos convence não é uma poderosa teoria dedutiva a respeito da célula – mesmo porque não existe tal teoria –, mas sim grande número de generalizações de baixo nível inter-relacionadas, que nos permitem controlar e criar fenômenos no microscópio. (Hacking, 2012, p. 305, grifo nosso).

Para ele, o real é observável, mas a própria teoria pode modificar nossas crenças sobre o que é observacional e o que é real. O que aprendemos na microscopia é nos mexer nesse campo, e com certeza estamos no caminho certo.

Hacking (1981, p. 13) argumentou que, de modo geral, não vemos através de um microscópio; vemos com ele, assim como "Não dizemos que vimos uma tentativa de assassinato com a televisão, mas sim na televisão". A palavra "ver" tem muitos usos. Por exemplo, ver e observar, para um físico de alta energia, estão muito distantes do olho. É possível que o "ver" tenha adquirido sua peculiar associação com a visão ocular no início do século XIX, com as manifestações das filosofias positivista e fenomenologia, que diziam que ver está nos olhos, não na mente. Mas Hacking disse estar convencido de que não surgiria confusão ao falar de ver com um microscópio, e que devido a nossa clara compreensão da maior parte da física usada para construir os microscópios, eles que nos permitem ver.

## 10. Especulação, Cálculo, Experimentação e Modelo

Como abordado em seções precedentes, embora Hacking tenha empreendido uma longa discussão da observação com microscópios, isto não quer dizer que ele tenha desconhecido o outro lado da moeda – a teorização. *A teoria não é em nada mais unificada do que a observação* (Hacking, 2012, p. 306). Ele ilustrou sua afirmação com as contribuições de Michael Faraday (1791-1864). Faraday fez inúmeras contribuições à física e à tecnologia, como o motor elétrico e a descoberta de que mudanças na intensidade da corrente acarreta mudança na intensidade magnética (ou reciprocamente, a rotação de um campo magnético gera corrente). Além disso, deixou-nos, em 1845, o "Efeito Faraday" – efeito óptico-magnético baseado na passagem de luz por um vidro denso de borosilicato em que se observava que o plano de polarização de um feixe de luz sofria uma rotação



paralela à das linhas de força magnéticas. Essa descoberta teve uma importância histórica tremenda porque sugeriu a possibilidade da existência de uma teoria unificada, abarcando a luz e o eletromagnetismo.

Entretanto, argumentou Hacking, esse era um fenômeno para o qual Faraday não tinha nenhuma teoria. Em 1865, Kelvin propôs um modelo físico segundo o qual o campo magnético deveria fazer as moléculas no bloco de vidro rotarem em eixos paralelos aos das linhas de força; essas rotações combinam com as vibrações induzidas pelas ondas de luz, fazendo o plano de polarização sofrer também uma rotação. O modelo de Kelvin foi adaptado por Maxwell para formar a teoria eletromagnética da luz. Maxwell adicionou elementos de simetria para determinar os termos adicionais na lagrangeana para vetor de campo eletromagnético. Finalmente, em 1892, Lorentz combinou as equações de Maxwell com sua teoria do elétron, isto é, não era apenas uma rotação molecular misteriosa, e sim um movimento de elétrons eletromagneticamente induzido – explicação aceita até hoje. Essa história ilustra a existência de diferentes níveis de especulação: tiveram início com o trabalho experimental de Faraday e, a partir disso, se desenvolveram formulações teóricas cada vez mais sofisticadas. Hacking diz que não quer dizer que esse tipo de conexão ocorre em todas as pesquisas. Entretanto, que essa história ilustra o fato lugar-comum de que o que chamamos de teoria é, na verdade, a confluência de diversos tipos de produção diferentes (Hacking, 2012, p. 310).

Para ele, a especulação é a representação de um objeto de interesse, uma reestruturação de ideias que venha a fornecer um entendimento qualitativo de algum aspecto geral do mundo. A maioria das teorias físicas possui parâmetros livres que são preenchidos pela experimentação. Um exemplo foi a especulação de que a distância percorrida por um corpo caindo em direção ao solo variaria com o quadrado do tempo de queda. O valor numérico, “g”, da gravidade local não fazia parte da especulação inicial, foi preenchido por medições experimentais; exigiu novas ideias experimentais e novos tipos de tecnologia, de forma que em muitos casos é necessária a articulação teórica e a articulação experimental. *Chamarei arbitrariamente de cálculo a mais teórica dessas duas atividades* (Hacking, 2012, p. 311). O cálculo não é mera computação, ao contrário, é a alteração matemática de uma especulação para fazê-la ressoar melhor junto ao mundo. Newton foi, assim, um grande especulador e um bom calculador. Para além da especulação teórica, ele coloca ênfase na experimentação, afirmando que ela tem vida própria.

Se a especulação intenciona apresentar uma estrutura qualitativa para determinado domínio, e a experimentação, em alguns momentos, segue sua própria vida, qual será o ponto de contato entre os dois? Resposta: o cálculo constrói a estrutura

hipotético-dedutiva razoavelmente bem formada que pode ser encontrada nos livros-texto. Quem escreve o dicionário são os homens que fazem os cálculos. Eles constroem a ponte semântica entre a teoria e a observação. (Hacking, 2012, p. 313)

É possível dizer que a visão epistemológica Ian Hacking coloca uma “ponte” na antiga discussão entre teoria e observação, especulação teórica e experimentação. Trata-se de uma ponte semântica. Daí a grande importância que ele atribuiu à linguagem, às sentenças, como já discutido. Na articulação entre especulação, cálculo e experimentação ocorre uma variedade imensa de atividades intermediárias – são as atividades de construção de modelos. Modelos podem ser manuseáveis (como as maquetes de moléculas), ou pictóricos, ou matemáticos. Neste ponto Hacking (2012) retomou ideias de Nancy Cartwright (1983), que diz que além de os modelos não serem dedutíveis das teorias nas quais estão embutidos, os físicos ainda podem utilizar modelos mutuamente inconsistentes dentro da mesma teoria. Para ela, os modelos são a única representação formal disponível para as leis fenomenológicas que acreditamos serem verdadeiras; e não há nada além dessas leis que nos permita prosseguir, no sentido de que existe mais verdade local nos modelos inconsistentes do que nas teorias superintelectualizadas. Além disso, ela defendeu que modelos tendem a ser mais resistentes que as teorias, em muitos casos, sobrevivem às teorias.

Esse posicionamento diz respeito ao estágio atual da ciência. A física faz uso satisfatório de um número cada vez maior de modelos (muitas vezes incompatíveis), mas ele não visualiza a unificação teórica (como queriam Newton e outros), e sim a superabundância. De qualquer modo, Hacking entendia que temos muito a fazer na física experimental, que tem sido grandemente negligenciada. *Uma filosofia da ciência experimental não pode permitir que outra, dominada pela teoria, lance suspeitas sobre o próprio conceito de observação...* (Hacking, 2012, p. 277).

## **11. O Experimento de Michelson**

Hacking (2012) discutiu experimentos conduzidos por Michelson, em 1881, com o objetivo de contrastar o relato de Lakatos com aquele do experimentador. Inspirado em ideias de Maxwell sobre o éter, Michelson percebeu que poderia dividir um raio de luz utilizando um espelho parcialmente prateado, que enviava uma metade dos raios na direção do movimento da Terra e outra metade em certo ângulo com relação a essa direção. Ao serem refletidos de volta, seria possível detectar qualquer efeito de interferência devido à mudança de fase causada pelas duas velocidades da luz resultante. Ninguém, à época, acreditava que isso funcionaria. Michelson também teve dificuldades. Por exemplo, alguns cavalos atrapalharam o experimento ao passar perto do prédio em

que o experimento era conduzido, causando uma tremulação. Precisou ir para o campo e colocar o aparato experimental flutuando sobre mercúrio para reduzir interferências. Lakatos explica que Michelson desenhou o experimento para testar as teorias contraditórias de Fresnel e Stokes acerca da influência do movimento da Terra sobre o éter, mas Hacking (2012, p. 362) discorda, argumentando que, como experimentador, Michelson queria fazer o que Maxwell em um artigo de 1878 disse ser impossível de ser feito, isto é, medir o movimento da Terra relativo ao éter. Michelson disse isso em carta a Simon Newcomb, escrita em Berlim, em 1880. Se o resultado fosse positivo, saberíamos, por fim, que o espaço é absoluto e conheceríamos a velocidade com que a Terra o atravessa. Porém, o resultado foi negativo. Lakatos considera o experimento de 1881 um “experimento crucial” para decidir entre duas explicações – a de Fresnel e a de Stokes – e provou que a teoria de Stokes estava certa. Para Hacking, Michelson nunca disse nada do gênero, e tampouco considerava seu experimento decisivo.

Em 1886/87 Michelson juntou-se a Morley para aprimorar o interferômetro, buscando verificar se o éter era carregado/arrastado pela Terra em sua velocidade, inspirados na teoria de Lorentz. Hacking explicou, no entanto, que Michelson-Morley eram experimentadores e estavam interessados em divulgar o interferômetro, mais do que as teorias do éter, e atraíram a atenção da Associação Americana para o Progresso da Ciência que, por meio de sua invenção, poderiam fornecer uma nova maneira de definir o metro padrão.

Para Hacking (2012), Popper tomou o experimento de Michelson-Morley como um experimento crucial sustentado na teoria da relatividade, apontando que a luz tem a mesma velocidade em todos os meios e em todas as direções, ao passo que Lakatos assumiu que esse experimento tem importância histórica apenas indireta. Para Hacking, tanto Popper como Lakatos enfatizaram apenas a faculdade racional (Hacking, 2012, p. 366), sendo ambas filosofias tão dominadas pela teoria que são capazes de nos tornar cegos para a realidade, pois deixaram de reconhecer que o trabalho de Michelson abriu novos caminhos de técnica experimental.

## **12. A Experimentação e o Realismo Científico de Entidades**

Para Hacking, experimentos servem não apenas para testar teorias, manipulam entidades, que a princípio podem ser “observadas”, para produzir novos fenômenos e investigar outros aspectos da natureza. Assumiu que essas entidades são ferramentas da prática, não do pensamento.

Ele argumentou que a entidade teórica favorita dos filósofos da ciência é o elétron.

Quando J. J. Thomson descobriu, em 1897, que o que ele chamava de “corpúsculos” era na verdade, catodos quentes em ebulição, praticamente a primeira coisa que ele fez foi tentar medir a massa dessas partículas carregadas negativamente. Ele obteve uma estimativa bruta da carga  $e$ , e mediu a relação  $e/m$ . O valor que obteve para  $m$  também estava mais ou menos certo. Millikan seguiu algumas ideias já em discussão no Laboratório Cavendish de Thomson e, por volta de 1908, determinou a carga do elétron, ou seja, a provável unidade mínima de carga elétrica. Assim, desde o princípio, o que se fez foi muito mais interagir com os elétrons do que testar sua existência. (Hacking, 2012, p. 368).

A partir do momento em que foi possível utilizarmos o elétron para manipular outras partes da natureza, o elétron deixou de ser um ente hipotético, algo inferido, passou a ser experimental. O experimentador, muitas vezes, é realista quanto à entidade que investiga, mas não precisa sê-lo. Millikan provavelmente tinha poucas dúvidas sobre a realidade dos elétrons quando começou a tentar medir sua carga, mas é possível que tenha se mantido cético acerca do que encontraria até conseguir efetivar sua descoberta. Apenas a manipulação de uma entidade, diz Hacking, acarreta comprometimento com a crença em sua existência. Só quando compreendemos algumas propriedades causais do elétron, podemos supor como construir um dispositivo engenhoso e complexo de modo a fazê-lo interagir deste ou daquele modo.

Só então, elétrons deixam de ser formas de organizar nosso pensamento, ou de salvar os fenômenos, se tornando maneiras de criar fenômenos em outros domínios – passando a ser nossas ferramentas. Hacking distinguiu o realismo de entidades do realismo de teorias. O realismo de teorias reforça a crença de que objetivamos teorias verdadeiras, isto tem a ver com os objetivos da ciência, e ninguém nega esta definição. Quando, porém, apontamos um laser preciso para um átomo para arrancar dele um elétron e produzir um íon, estamos apontando elétrons presentes. Os experimentadores tratam do realismo de entidades, que é uma doutrina muito mais neutra no que diz respeito aos valores. Ainda assim, Hacking admitiu que distintos experimentadores dentro de uma mesma equipe podem ter diferentes opiniões, até mesmo mutuamente incompatíveis, a respeito dos elétrons. Existem montes de teorias, modelos, aproximações, imagens, formalismos, métodos etc., envolvendo os elétrons, mas não há nenhuma razão para se supor que a interseção de tudo isso seja uma teoria (Hacking, 2012, p. 371).

Em suma, cientistas, em oposição aos filósofos da ciência, adotam posturas realistas com respeito às entidades científicas. Argumentou que depois que Millikan obteve a carga dos elétrons, Uhlenbeck e Goudsmit, em 1925, determinaram um momento angular para os elétrons, o que resolveu vários problemas; depois se descobriu o spin dos elétrons, mas um grande salto foi nossa

habilidade de excitar o spin, polarizando elétrons e fazendo dispersarem-se em proporções diferentes. Ele disse estar certo de que existe um sem-número de entidades e processos que talvez o ser humano nem conhecerá: a realidade é maior do que nós (p. 384). O principal não é que conheçamos o mundo, mas sim que podemos modificá-lo. Para ele, os melhores tipos de evidência para a realidade de uma entidade postulada é nossa capacidade de entender algo a respeito de seus poderes causais, por meio da medição. Este tipo de compreensão só pode ser atestado pela nossa capacidade de construir máquinas de funcionamento razoavelmente confiável, que se beneficiam deste ou daquele nexos causal, de forma que é a engenharia, a experimentação – e não a teorização – a melhor prova do realismo científico das entidades.

### **13. Considerações finais**

Apresentamos neste texto uma síntese das ideias centrais de Hacking (1983; 2004), buscando refletir a sua afirmação de que “o experimento tem vida própria”. Entendemos que a discussão sobre a relevância da dimensão experimental da ciência proposta por Hacking (1983), posteriormente corroborada por outros cientistas experimentais, como Franklin (1986), abre a possibilidade de novas discussões sobre a natureza da ciência. Recentemente, Stuart (2016) propôs uma concepção “material” também para os experimentos de pensamento, sob a justificativa de que os resultados dos experimentos de pensamento não se apoiam nas relações formais ou lógicas entre suas proposições, mas em relações materiais; e recorreu a critérios análogos aos estabelecidos por Hacking (1983) e Franklin (1986), utilizados por estes para a avaliação de bons experimentos empíricos. Sartori (2023), na mesma linha, sustenta que carecemos de mais estudos e de um quadro conceitual comum sobre o estatuto epistemológico dos “experimentos de pensamento”; e buscou contribuir, fornecendo um quadro baseado na distinção entre a validade interna (em termos de jogos de faz de conta) e a validade externa (representação precisa de um sistema), para diminuir a lacuna que, em sua perspectiva, é fonte de divergências no debate atual sobre experimentos de pensamento.

Assim como nestas pesquisas recentes, é relevante também na educação científica discutir e apresentar os argumentos tão cuidadosamente trabalhados por Hacking sobre a dimensão experimental da ciência, mesmo porque nenhuma visão contemporânea da natureza da ciência desconhece o relevante papel da observação e da experimentação. Assim, entendemos que a discussão de sua visão epistemológica pode trazer contribuições para construir concepções de ciência mais abrangentes, menos ingênuas, tanto na educação científica básica como na formação de

professores da educação básica. A complexificação de nossas ideias sobre a ciência também pode vir da contraposição de posturas filosóficas.

É nesse sentido que este texto busca contribuir, mas reconhecemos que é introdutório e que não dispensa a leitura das obras originais, especialmente, a obra *Representar e Intervir*, que se apresenta como uma ponte entre a tradição filosófica tradicional e uma nova visão, que coloca luz na experimentação, observação, manipulação e no realismo de entidades teóricas.

### Referências Bibliográficas:

ABBE, Ernst. **Conditions of Microstereoscopic Vision**. London, UK: Williams & Norgate, 2.1: 680–689, 1881.

CARNAP, Rudolf. **The Logical Structure of the World: pseudoproblems in Philosophy**. Berkeley: University of California Press, 1967.

CARTWRIGHT, Nancy. **How the laws of physics lie**. Oxford University Press, 1983.

DUHEM, Pierre Maurice Marie. **A Teoria Física: seu objeto e sua estrutura**. Rio de Janeiro, EdUERJ, 2014.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FEYERABEND, Paul. **Contra o método**. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

FRANKLIN, Allan. **The neglect of experiment**. Cambridge University Press, 1986.

GAGE, Simon Henry. **The Microscope: an introduction to microscopic methods and to histology**. 8th edition. New York: Comstock Publishing Co., 299 p., 1901.

GOMBRICH, Ernst. **A História da Arte** (pocket edition). Editora LTC, 2013.

HACKING, Ian. **Do we see through a microscope?** Pacific Philosophical Quarterly, vol. 62, n. 4, 1981.

HACKING, Ian. **Representing and Intervening**. Cambridge University Press, 1983. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511814563>

HACKING, Ian. **Por que a Linguagem Interessa à Filosofia?** São Paulo; Editora Unesp, 1999.

HACKING, Ian. **Historical ontology**. Cambridge, Mass: University Press, 2004.

HACKING, Ian. **Representar e Intervir: tópicos introdutórios de Filosofia da Ciência Natural**. Rio de Janeiro: EdUFRJ, 2012.

HANSON, Norwood Russell. **Patterns of Discovery: an Inquiry into the Conceptual Foundations of Science**. First edition. Cambridge University Press, 1958.

KUHN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. 6ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.

LAKATOS, Imre. **La metodología de los programas de investigación científica**. Madrid: Alianza, 1993.

LAUDAN, Larry. **El progreso y sus problemas**. Madrid: Encuentro Ediciones, 1977.

MASSONI, Neusa Teresinha; MOREIRA, Marco Antonio. Epistemologia de Nancy Cartwright: uma contribuição ao debate sobre a natureza da ciência atual. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, vol. 16, n. 3, 2014, p. 95-119.

MAXWELL, Grover. **The ontological status of theoretical entities**. Minnesota Studies in the Philosophy of Science, n. 3, 1962, p. 3-27.

NICOLELIS, Miguel. **O verdadeiro criador de tudo: como o cérebro humano esculpiu o universo como nós o conhecemos**. São Paulo: Planeta, 2020.

PERUZZO, Léo; STROPARO, Amanda Luiza. O Fisicalismo de Smart e a Questão da redutibilidade da consciência à matéria. **Diálogos**, vol. 04, 2019, p. 31-52. <https://doi.org/10.53930/27892182.dialogos.4.63>

POPPER, Karl. **Conjecturas e Refutações**. 5ª ed. Brasília: Editora da UnB, 2008.

POPPER, Karl. **A Lógica da Pesquisa Científica**. 6ª ed. São Paulo: Editora Cultrix, 2000.

REICHENBACH, Hans. **Experience and Prediction**. The University of Chicago Press, Chicago and London, 1970.

SARTORI, Lorenzo. Putting the ‘Experiment’ back into the ‘Thought Experiment’. **Synthese**, 201:34, p. 1-36, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11229-022-04011-3>.

SIMONS, Massimiliano; VAGELLI, Matteo. Were experiments ever neglected? Ian Hacking and the history of philosophy of experiment. **Philosophical Inquiries**, vol. 9, n. 1. 2021. p. 167-188. DOI: 10.4454/philing.v9i1.339.

SMART, J. J. C. Materialism. **Journal of Philosophy**, v. 60, n. 22, pp. 651-662, 1963. <https://doi.org/10.2307/2023512>.

STAYLER, Elizabeth. **Optical Methods in Biology**. First edition. Wiley-Interscience, 1970.



STUART, Michael T. Norton and the logic of thought experiments. **Axiomathes**, 26(4), 451–466, 2016. DOI: 10.1007/s10516-016-9306-2.

VAGELLI, Matteo. Ian Hacking: the Philosopher of the Present, an Interview by Matteo Vagelli. **Iride: Filosofia e Discussione Pubblica**, v. 27, n. 72, 2014, p. 239-272. DOI: 10.1414/77453.