

Modelos de explicação científica, inferência da melhor explicação e a história da dupla-hélice do DNA

Gabriel Chiarotti Sardi*

Resumo: O presente artigo objetiva realizar um estudo de caso que aplica o modelo de inferência da melhor explicação (*inference to the best explanation*, IBE) de Peter Lipton ao episódio histórico da construção do modelo de dupla-hélice do DNA, no século XX. Procura avaliar a eficiência de tal modelo quando confrontado com a história da ciência e em que medida é capaz de rivalizar com ou superar outros modelos de explicação já consolidados na literatura de filosofia da ciência, tais como os modelos nomológico-dedutivo e indutivo-estatístico de Carl Hempel, o modelo de relevância estatística de Wesley Salmon, ou, ainda, o modelo pragmático de explicação de Bas van Fraassen. Por fim, a conclusão apresentada é que o modelo de inferência da melhor explicação se mostra mais eficaz para ilustrar esse episódio da história da genética do que as outras propostas filosóficas analisadas.

Palavras-chave: Modelos de explicação. Inferência da melhor explicação. Peter Lipton. Dupla-hélice do DNA.

Scientific explanation models, inference to the best explanation and the DNA's double helix history

This paper aims to carry out a case study, seeking to apply Peter Lipton's explanation model called inference to the best explanation (IBE) to the historical episode of the construction of the DNA double-helix model, in the 20th century. In addition, it evaluates the efficiency of such a model when confronted with the history of science and to what extent it rivals or even surpasses other explanation models consolidated in the philosophy of science literature, such as Carl Hempel's nomological-deductive and inductive-statistical models, Wesley Salmon's statistical relevance model, or Bas van Fraassen's pragmatic

* Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Filosofia. Doutorando em Filosofia. *E-mail:* gabrielchi@hotmail.com

model of explanation. It concludes that the inference to the best explanation (IBE) model appears more effective in illustrating this historical episode in genetics than the other philosophical proposals analyzed.

Keywords: Inference to the best explanation. Scientific explanation models. Peter Lipton. DNA double helix.

1 INTRODUÇÃO

A noção de explicação científica é sumamente necessária para a compreensão da dimensão e do valor cognitivo das ciências naturais e sociais, pois é através dela que podemos vislumbrar o alcance e a solidez do empreendimento científico quando comparado a noções explicativas arbitrárias de senso comum ou pseudocientíficas. Dessa forma, compreender o que são e como são produzidas as explicações teóricas da ciência se configura como um dos principais motes da Filosofia da Ciência contemporânea.

Tais discussões sobre o que são e como são produzidas as explicações científicas ocupam um papel de destaque nos debates da Filosofia da Ciência desde a publicação de “Studies in the logic of explanation” de Carl Hempel e Paul Oppenheim em 1948. Desde então, inúmeros artigos e livros buscando oferecer respostas à questão da natureza da explicação científica foram publicados, gerando acaloradas discussões e propondo modelos de explicação aos quais várias objeções e críticas foram tecidas, sempre buscando um maior aperfeiçoamento de tais modelos a fim de que fossem capazes de esclarecer o que *é* uma explicação dentro da prática científica (Moulines, 2020, pp. 115-116).

Dentre as numerosas abordagens, algumas se sobressaíram gerando calorosos debates. Dentre elas, merecem destaque as formulações de Carl Hempel, Wesley Salmon e Bas van Fraassen, tanto pelas divergências internas entre as perspectivas, quanto pelas virtudes esclarecedoras que cada uma delas nos apresenta¹.

¹ Há outros modelos de explicação além dos examinados no presente texto, tais como o “modelo mecânico causal” (CM), defendido por autores como Phil Dowe (2000) e Wesley Salmon (1984), este último, após reconhecer algumas limitações do “modelo de relevância estatística” ou ainda o “modelo unificacionista de explicação”, desenvolvido por Michael Friedman (1974) e, sobretudo, Philip Kitcher (1989). Todavia, optei por não os abordar detalhadamente para não prolongar essa breve menção ao problema da explicação científica.

Entretanto, embora tenhamos vários modelos de explicação disponíveis na literatura de filosofia da ciência, muitos deles incorrem em alguns problemas, sejam eles decorrentes da forma como os próprios modelos foram construídos, ou ainda pela aparente incapacidade desses modelos de abarcarem os diversos tipos de explicação presentes nos mais variados episódios históricos da ciência, pois ora as explicações na ciência recorrem à dedução de leis, ora a previsões estatísticas, ou, ainda, a construções de modelos (como, por exemplo, modelos de estruturas moleculares); além do fato de não se propuserem a explicar o processo de geração de uma hipótese explicativa no seio da prática científica real.

Com a finalidade de desenvolver um modelo que não incorresse nos mesmos problemas dos modelos clássicos e, ainda, fosse capaz de explicar a gênese das hipóteses explicativas por parte dos cientistas, o filósofo da ciência Peter Lipton (1954-2007) apresentou, em 1991 (e aprimorou em 2004), o modelo denominado “inferência da melhor explicação” (*inference to the best explanation* – IBE), em seu livro homônimo, no qual apresentava a natureza da explicação científica como uma crença estabelecida (a melhor crença disponível, isto é, a mais plausível) entre as noções entendimento, plausibilidade e conhecimento.

Segundo Lipton, os cientistas, ao produzirem e selecionarem as hipóteses para explicar um fenômeno, são guiados por considerações (ou virtudes) explicativas, que os conduzem a uma formulação não arbitrária de uma explicação graças aos filtros postulados por seu modelo, que busca ser tanto descritivo, quanto normativo.

Embora a proposta de Lipton possa ser considerada um avanço para as discussões acerca da natureza das explicações científicas, seu livro não recebeu a devida atenção quanto ao aspecto de oferecer um novo modelo ou forma de se compreender a formulação de tais explicações, restringindo-se a outras discussões. Essa ausência de justa atenção à proposta liptoniana culminou em um esquecimento do modelo de inferência da melhor explicação frente aos modelos clássicos e um déficit de estudos buscando realizar uma comparação entre tais estruturas e, sobretudo, uma aplicação da proposta liptoniana a episódios da história da ciência.

Posto isso, a proposta do presente artigo é situar a discussão acerca da natureza das explicações científicas, apresentando as vantagens e

desvantagens de alguns modelos consolidados na literatura, bem como o modelo de Lipton, visando, ao final, propor um balanço referente aos possíveis progressos trazidos pelo modelo inferência da melhor explicação aplicando-o ao episódio da construção do modelo molecular da dupla-hélice do DNA, elucidando alguns passos seguidos por James Watson e Francis Crick (1916-2004) em sua empreitada científica – passos estes que não são contemplados pelas propostas filosóficas dos outros modelos de explicação examinados, por não vislumbrarem o processo de construção de modelos moleculares como uma metodologia possível no seio da prática científica real.

Para tanto, primeiramente revisito os modelos de Hempel, Salmon e Van Fraassen e as principais críticas dirigidas a eles. Em seguida, apresento o modelo de inferência da melhor explicação de Lipton e seu mecanismo de seleção. Mais adiante, situo o modelo liptoniano frente aos problemas e críticas dos modelos anteriormente investigados e examino, brevemente, uma possível aplicação ao episódio da dupla-hélice do DNA. Por fim, nas considerações finais, realizo um balanço do que foi trabalhado no presente artigo.

2 OS MODELOS CLÁSSICOS: NOMOLÓGICO-DEDUTIVO, INDUTIVO-ESTATÍSTICO, RELEVÂNCIA ESTATÍSTICA E PRAGMÁTICO

Nas discussões acerca da natureza da explicação científica, algumas das propostas de modelos se tornaram clássicas na literatura devido à sua importância e pertinência filosófica. Dentre tais propostas, pode-se mencionar, por exemplo, as apresentadas por Carl Hempel, Wesley Salmon e Bas van Fraassen.

Hempel (1974, pp. 68-69) caracterizou a dimensão da explicação científica como um argumento em que a conclusão é, basicamente, uma descrição do próprio fenômeno a ser explicado. O autor formulou dois tipos distintos de modelos que correspondessem à noção de ex-

plicação como argumento, sendo que ambos deveriam, fundamentalmente, satisfazer a dois requisitos: i) relevância explicativa² e ii) requisito de verificabilidade³.

O primeiro modelo apresentado por Hempel, que foi chamado de “modelo nomológico-dedutivo” (DN)⁴, em linhas gerais, admite que as explicações na ciência podem seguir um modelo de raciocínio dedutivo, isto é, que a explicação de um fenômeno específico deve ser derivada de leis gerais que são aceitas previamente e das condições iniciais do fenômeno. Em outras palavras, se um fenômeno particular a ser explicado, o *explanandum*, pode ser derivado dedutivamente, de forma válida, de leis universais que se aplicam sobre o fenômeno – o *explanans*, dadas certas condições, temos, então, uma explicação científica satisfatória. Ao modelo *nomológico-dedutivo*, inúmeras objeções e contraexemplos foram apresentados na literatura clássica, tais como o problema da assimetria⁵ (Bromberger, 1966, pp. 92-93; Salmon, 1998, p. 309), ou

² “[...] *requisito da relevância explicativa*: a informação aduzida fornece bom fundamento para acreditar que o fenômeno a ser explicado de fato aconteceu ou acontecerá. É a condição a ser satisfeita para que estejamos autorizados a dizer: ‘o fenômeno está explicado – é justamente o que se esperava nas circunstâncias dadas’” (Hempel, 1974, pp. 66-67).

³ “[...] *requisito de verificabilidade*: os enunciados que constituem uma explicação científica devem prestar-se à verificação empírica” (Hempel, 1974, p. 67).

⁴ Do original em inglês: *Deductive-nomological model*.

⁵ O problema da assimetria evidencia que o modelo nomológico-dedutivo não consegue estabelecer de qual direção uma explicação deve partir para ser considerada verdadeira ou satisfatória. Para ilustrar esse ponto, tomemos o seguinte exemplo: “A altura de um mastro, enquanto condição inicial aplicada sobre leis relevantes da trigonometria, explica o comprimento da sombra do mastro, digamos, ao meio-dia; por sua vez, simetricamente, a sombra do mesmo mastro, enquanto condição inicial aplicada sobre leis relevantes da trigonometria, explicaria a altura do mastro, digamos, ao meio-dia. Ambas as explicações putativas obedecem à estrutura e condições de adequação do modelo DN” (Castro, 2020, p. 11). Diante da citação mencionada, é possível alegar, segundo o modelo DN, que partindo da sombra do mastro, aplicada como condição inicial às leis da trigonometria, ao meio-dia seria possível explicar satisfatoriamente a altura do mastro. Há aqui uma bivalência entre a sombra do mastro e o próprio mastro aplicados às leis, que acaba por acarretar uma possível conclusão contra-intuitiva que não aparenta ser científica, posto que geralmente aceitaríamos que a explicação plausível deveria partir do objeto físico para sua sombra e não o inverso. Temos, portanto, uma assimetria entre *explanans* e *explanandum* no modelo nomológico-dedutivo em alguns casos.

o problema da irrelevância⁶ sobre o qual, inclusive, o próprio Hempel se debruçou (Hempel, 1974, p. 73; Salmon, 1989, p. 50).

Embora o modelo nomológico-dedutivo sofra diversas críticas, ele pode ser aplicado em muitos casos das ciências naturais. Todavia, é notório que esse modelo de explicação não é suficiente para descrever todos os tipos de explicações teóricas que temos nas ciências, na medida em que grande parte das explicações não seguem um padrão dedutivo de leis universais, mas sim outros padrões, como, por exemplo, induções probabilísticas.

Ciente das limitações do modelo nomológico-dedutivo, Hempel desenvolveu, paralelamente, o “modelo indutivo estatístico” (IS)⁷, que se aplica a questões em que o *explanandum* não pode ser deduzido do seu *explanans*⁸. Esse tipo de raciocínio, diversamente do modelo nomológico-dedutivo, é pautado em evidências ou leis estatísticas em vez de

⁶ Já o problema da irrelevância simplesmente mostra como leis naturais que são irrelevantes para a explicação de um fenômeno podem ser utilizadas em um caso nomológico-dedutivo. Vejamos o exemplo (Castro, 2020, p. 13): 1) Todos os homens que tomam pílulas anticoncepcionais não engravidam (lei da natureza); 2) João tomou pílulas anticoncepcionais durante 2001 (condição inicial); 3) Conclusão João não engravidou em 2001. O raciocínio acima obedece às regras do modelo nomológico-dedutivo, ou seja, o *explanandum* pode ser deduzido validamente do *explanans*. Entretanto, isso não significa que se configure como uma explicação científica (ou minimamente satisfatória), pois aparentemente o fato de os homens tomarem pílulas anticoncepcionais não é a razão explicativa do motivo de não engravidarem (a saber, sua estrutura fisiológica). Isso evidencia um outro problema do modelo nomológico-dedutivo, que é a necessidade de distinguir leis naturais legítimas de meras generalizações cabíveis. Há uma disparidade entre as sentenças “todos os planetas do sistema solar percorrem trajetórias elípticas” e “todos os homens que tomam pílulas anticoncepcionais não engravidam”, na medida em que a primeira frase possui um conteúdo explicativo universal como pano de fundo, enquanto a segunda não passa de uma constatação acidental. Porém, ambas as sentenças podem ser usadas como leis em uma aplicação do modelo nomológico-dedutivo.

⁷ Do original em inglês, *inductive statistical explanation*.

⁸ A fim de exemplificação do *modus operandi* do modelo indutivo estatístico, considere o seguinte caso: a) fenômeno a ser explicado: por que Ana, ao ser exposta ao vírus SARS-COV 2, não contraiu a doença COVID-19; b) evidência adicional: Ana foi vacinada contra COVID-19 com a vacina Y; raciocínio indutivo-estatístico: 1) Foi mostrado que a vacina Y possui eficácia estimada em 95% contra o vírus SARS-COV 2 (portanto, trata-se de uma evidência estatística); 2) Ana tomou a vacina Y; 3) Podemos induzir que seja provável que a vacina impediu que Ana, ao entrar em contato com vírus, desenvolvesse a doença COVID-19.

leis naturais universais. Basicamente, diante de um *explanans* que explica de forma probabilística a um fenômeno *explanandum*, podemos induzir uma explicação satisfatória. Contudo, no modelo indutivo estatístico a explicação se apresenta como satisfatória somente em casos com alta probabilidade estatística⁹.

A fim de sanar problemas do tipo elencado acima com explicações estatísticas, Wesley Salmon (1971, p. 29, p. 88)¹⁰ propôs o “modelo de relevância estatística” (SR)¹¹, oferecendo uma forma de raciocínio capaz de distribuir as variáveis envolvidas em um caso de explicação tido como probabilística entre o *explanans* e o *explanandum* e encontrar os elementos estatisticamente relevantes para o *explanandum*, independentemente do grau de probabilidade de seu resultado¹². Todavia, um problema geralmente contraposto ao modelo de relevância estatística (SR) é que o *explanans* estatisticamente relevante para o *explanandum* em questão também é estatisticamente relevante para seu contraditório (Cartwright, 1979, p. 425)¹³. Por essa razão, o modelo de relevância estatística, embora útil para compreender a dinâmica de fatores rele-

⁹ Pois, por exemplo, caso a vacina Y possuísse somente 5% de eficácia contra o vírus causador da doença, o modelo indutivo-estatístico não ofereceria uma ferramenta capaz de mensurar se houve outros fatores que impediram o contágio viral, implicando, somente, que foi a vacina a responsável pela não contaminação (mesmo com sua baixa eficácia estatística).

¹⁰ É importante frisar que, ao contrário de Hempel, Salmon caracterizava a explicação científica não como um argumento, mas sim como um conjunto de sentenças capaz de oferecer bases seguras para inferir os elementos probabilisticamente relevantes que pudessem explicar a ocorrência ou previsão de um fenômeno.

¹¹ Do original em inglês: *statistical relevance model*.

¹² Vejamos um exemplo: a) fenômeno a ser explicado: por que Ana não contraiu COVID-19 ao ser exposta ao vírus SARS-COV 2; b) evidência adicional: Ana foi vacinada contra COVID-19 com a vacina Y; c) probabilidade de não contágio sem a vacina Y: 0,2 ; d) probabilidade de não contágio com a vacina Y: 0,9; - raciocínio SR: induz-se ser provável que Ana não tenha contraído a doença graças à vacina Y, visto que a probabilidade de não contágio sem o uso do fármaco é muito inferior à probabilidade de não contágio após o uso do fármaco.

¹³ Suponha que em um grupo de dez pessoas vacinadas, três delas contraíram a doença; o uso da vacina Y também é relevante estatisticamente para explicar os casos de contaminação graças à distribuição de probabilidade que possibilita que tais casos sejam contemplados pela estrutura estatística. Isso significa que o sistema *Relevância Estatística* pode ser utilizado para explicar qualquer fato, inclusive o seu oposto (o que é, aparentemente, intuitivamente incorreto em alguns casos).

vantes envolvidos em um processo de geração de explicações científicas, não é capaz de indicar precisamente em que direção a explicação correta deve seguir¹⁴.

Distanciando-se das características dos modelos apresentados anteriormente, há a proposta de um “modelo de explicação pragmático” por Bas van Fraassen¹⁵ em *A imagem científica* (Van Fraassen, 2007, pp. 237-276). Esse modelo alternativo de explicação se afasta dos modelos nomológico-dedutivo, indutivo-estatístico e relevância estatística porque tais abordagens consideram sempre a explicação científica como estabelecida através da relação entre dois termos: o fenômeno a ser explicado e, a depender do modelo em questão, as leis naturais ou estatísticas, ou os fatores relevantes para a ocorrência do fenômeno. O modelo pragmático de Van Fraassen, em contrapartida, admite que uma explicação nada mais é do que uma resposta a uma questão—porquê que é condicionada pelo contexto em que foi formulada. Nesse sentido, o modelo pragmático afirma que uma explicação científica se dá através da relação entre três termos: teoria, fato e contexto (Van Fraassen, 2007, cap. 5)¹⁶.

¹⁴ Uma outra objeção pode ser levantada contra as explicações tanto do modelo indutivo estatístico (IS) quanto do modelo de relevância estatística (SR). Se tomarmos o pressuposto de que o universo é determinístico, isto é, possui leis fixas e imutáveis — mesmo que, por ora, estejam além do nosso alcance —, as explicações probabilísticas são, na melhor das hipóteses, meras possíveis aproximações dessas leis. Dessa forma, os modelos estatísticos são insuficientes para quem procura um “modelo ideal” de explicação, capaz de explicar objetivamente as relações entre fenômenos e as leis da natureza. O próprio Salmon reconheceu que o modelo de relevância estatística é limitado e suscetível a críticas desse teor: “uma explicação não mostra que o acontecimento era esperado; mostra que tipos de expectativas seriam razoáveis e sob que circunstâncias o acontecimento era esperado” (Salmon, 1971, p. 79).

¹⁵ Van Fraassen não foi o único autor a propor um modelo pragmático de explicação. Outros nomes podem ser mencionados, tais como Michael Scriven (1962), Sylvan Bromberger (1966) e Peter Achinstein (1983). Contudo, optei por tratar exclusivamente da proposta de Van Fraassen tanto devido à sua importância para o debate e relevância que exerceu na época de publicação (1980), quanto por poder sintetizar bem o núcleo comum de abordagens pragmáticas da explicação.

¹⁶ Considere o seguinte exemplo, amplamente empregado: um motorista, ao fazer uma curva mal sinalizada em alta velocidade, sofre um acidente e vai a óbito. Para o médico que foi chamado para socorrê-lo, a causa da morte foi hemorragia múltipla. Entretanto, para o policial rodoviário que estava atendendo a ocorrência, o acidente se deu devido

O contexto guia a formulação e valoração das explicações na medida que determina a classe-de-contraste (X), o tópico (Pk) e a relação de relevância (R) a uma questão-por-quê. Uma classe-de-contraste é o conjunto de elementos possíveis contrapostos na questão; o tópico se refere ao assunto em questão (um dos membros da classe-de-contraste) e deve, necessariamente, ser verdadeiro; e a relação-de-relevância é aquilo a que se pede uma razão explicativa, sendo que uma proposição (A) só pode ser aceita como uma resposta satisfatória se A estabelece R com X e Pk¹⁷. A consequência geral dessa abordagem de Van Fraassen é que o poder explicativo de uma teoria está condicionado à sua

à alta velocidade e à má sinalização da curva. Por outro lado, para o perito mecânico que foi chamado ao local, a causa de todo o ocorrido se deu por uma falha no sistema de freios do automóvel. Qual seria a motivação correta? Todos os três indivíduos – médico, policial e mecânico – podem reconhecer as causas elencadas entre eles, mas cada um defenderá que a causa apontada por si mesmo é a mais importante. Todas as três respostas são explicações para um mesmo fenômeno – e satisfatórias a depender do contexto em que estão inseridas. Partindo do exemplo acima, podemos compreender a razão por que Van Fraassen introduz a relevância do contexto na dimensão da explicação científica, visto que ele é determinante para a própria formulação da explicação em si, além de condicionar uma determinada lei, fato ou teoria como relevante para explicar um fenômeno em dado contexto, bem como a aceitação da hipótese explicativa. Van Fraassen busca, através de seu modelo pragmático de explicação, se livrar dos problemas de relevância e assimetria que afligem as demais teorias da explicação aqui abordadas, posto que através da inserção da noção conceitual de contexto é possível determinar quando é a sombra do mastro ou o mastro que deve ser parâmetro para explicar a altura um do outro; ou ainda, explicar qual fato relevante deve ser levado em consideração para explicar os casos de contaminação em que um grupo foi vacinado etc.

¹⁷ Considere o seguinte exemplo: a) questão-por-quê: por que Adão comeu a maçã? b) possíveis interpretações: 1) por que foi Adão que comeu a maçã e não Eva? 2) por que Adão comeu uma maçã em vez de uma tangerina? 3) por que Adão comeu a maçã em vez de jogá-la fora? Em cada uma das possíveis interpretações a ênfase é depositada em um aspecto diferente da questão-por-quê geral, determinando uma resposta diferente a uma mesma questão. Como saber qual interpretação deve ser seguida? Suponha que a interpretação correta nesse caso específico é a interpretação (1). O contexto indicará que a classe-de-contraste dessa questão é Adão e Eva, que o tópico foi o ato de Adão comer a maçã e que a proposição “porque Adão estava mais próximo da maçã” é satisfatória à questão de a motivação de Adão executar esse ato em vez de Eva, porque estabelece uma relação-de-relevância entre as partes. Sem o contexto determinando tais elementos, seria impossível saber qual interpretação estaria em voga e consequentemente formular uma resposta adequada.

aplicação pragmática em determinado contexto, isto é, o poder explicativo de uma teoria científica é uma *virtude pragmática* e não uma virtude teórica intrínseca. Para Van Fraassen, a explicação científica é a ciência aplicada (o uso de teorias para dar explicações) e não as próprias teorias em si.

Alguns problemas podem ser levantados contra a proposta de explicação pragmática de Van Fraassen, como, por exemplo, a falta de um critério ou restrição formal relativo à relevância (R) que pode ser estabelecida no interior do modelo. Essa crítica específica foi feita por Kitcher e Salmon (1987, p. 322) e busca mostrar que é possível que construir uma proposição (A) absurda, que, ainda assim, possua relação de relevância (R) coerente com o tópico verdadeiro da questão (Pk) e sua classe-de-contrastes (X)¹⁸. O resultado é que o modelo de Van Fraassen permite que quase tudo possa explicar quase tudo, desde que a relação de relevância de uma proposição seja aceita por alguém – o que pode soar inaceitável para um defensor da objetividade do conhecimento científico e sua primazia sobre as demais formas de conhecimento.

Diante dos problemas em que tais modelos clássicos incorrem, outras propostas foram apresentadas na literatura de filosofia da ciência. Um desses modelos é a inferência da melhor explicação de Peter Lipton, que analisarei a seguir.

¹⁸ Essa possível relação problemática pode ser explicitada através de um exemplo em que se emprega a pseudociência da astrologia para explicar um fato concreto. Vejamos: Questão-por-que: por que foi Adão que comeu a maçã e não Eva? Resposta: Adão comeu a maçã em vez de Eva comê-la porque estava predeterminado pela posição de alinhamento de Júpiter e Saturno no dia do seu nascimento. Nesse raciocínio o tópico (Pk) é verdadeiro (a saber, Adão comeu a maçã e não Eva), a classe-de-contrastes (X) é Adão e Eva, e a proposição (A) “porque estava predeterminado pela posição de alinhamento de Júpiter e Saturno no dia do seu nascimento” estabelece uma relação de relevância (R) com (Pk) e (X), embora seja intuitivamente insatisfatória em razão de não considerarmos a astrologia uma forma de conhecimento verdadeira e/ou justificada.

3 O MODELO DE INFERÊNCIA DA MELHOR EXPLICAÇÃO DE PETER LIPTON

A origem da inferência da melhor explicação (IBE), embora muitas vezes confundida erroneamente com a abdução de Charles Peirce¹⁹, remonta ao artigo homônimo de Gilbert Harman, publicado em 1965, em que o filósofo apresenta um tipo de raciocínio inferencial, diverso da indução e dedução, capaz de narrar o processo seletivo entre hipóteses rivais e mostrar os pressupostos do cientista nesse processo eliminativo. O autor chamou esse tipo de raciocínio de “inferência da melhor explicação”.

A inferência da melhor explicação foi alvo da atenção de diversos autores, todavia, foi somente com Peter Lipton que esse simples raciocínio descritivo se transformou em um modelo de explicação científica capaz de narrar os processos de geração e seleção de teorias. A proposta do filósofo, à primeira vista, poderia ser identificada como uma teoria pragmática da explicação científica, tal como a proposta de Van Fraassen, mas com a ressalva de que possui um conceito norteador que delimita e guia a formulação de possíveis explicações no interior do contexto a fim de encontrar uma possível causa explicativa para a ocorrência do fenômeno, mas sem incorrer no risco de perda de conteúdo epistêmico razoável. Nesse sentido, o modelo de inferência da melhor explicação pode ser considerado como um desenvolvimento de um tipo geral de modelo causal de explicação (Lipton, 2004, p. 29). Em suma, o modelo de Lipton pode ser descrito da seguinte forma: diante de um fenômeno a ser explicado, o cientista gera ou seleciona a hipótese explicativa (de acordo com determinadas virtudes explicativas) que, se verdadeira, explicaria a causa do fenômeno (sendo, portanto, a melhor explicação).

Esse processo gerativo ou seletivo seria composto por dois filtros ou estágios distintos. O primeiro filtro selecionaria um conjunto de hipóteses potenciais para explicar o fenômeno. Já o segundo filtro selecionaria, dentre as alternativas elencadas pelo primeiro filtro, a alternativa mais plausível. Ambos os estágios seriam guiados pelas considerações explicativas das hipóteses.

¹⁹ Para tratar dessa distinção, ver: Campos (2011); Silva e Sardi (2020); Sardi (2022).

De acordo com a inferência da melhor explicação, nossas práticas inferenciais são governadas por considerações explicativas. Através de nossos dados e crenças anteriores, inferimos a hipótese que pode, se verdadeira, oferecer a melhor dentre as explicações concorrentes que pudermos gerar a partir desses dados (desde que a melhor seja boa o suficiente para fazermos qualquer inferência) (Lipton, 2004, p. 56)²⁰.

As considerações explicativas invocadas pela inferência da melhor explicação (BE) de Lipton podem ser caracterizadas como a capacidade explicativa de uma hipótese elucidada através de virtudes explicativas, isto é, “características que tornam uma explicação mais plausível do que outra” (Lipton, 2004, p. 122). Tais virtudes são variadas e foram objeto de estudo e análise filosófica de vários autores, mas podemos elencar as mais gerais e importantes para o objetivo aqui proposto, tais como: unificação (Lipton, 2004, p. 139), simplicidade (Lipton, 2004, p. 122), alcance explicativo (Thagard, 2017, p. 150) fecundidade (Lipton, 2004, p. 122; Lipton, 2001, p. 94), adequação empírica (Van Fraassen, 2007), e analogia com o conhecimento anterior estabelecido (Lipton, 2004, p. 140; Lipton, 2010, p. 322). Adiante, quando aplicarmos tais virtudes ao episódio da dupla-hélice do DNA, ficará claro ao leitor o que é como opera cada uma das virtudes supracitadas no processo de geração e seleção de uma hipótese científica.

Em linhas gerais, a tese central da obra de Lipton é que as considerações explicativas operam como um importante guia para os processos inferenciais de geração²¹ e seleção da hipótese detentora de maior plausibilidade na inferência da melhor explicação (Lipton, 2004, p. 123), isto é, que a própria capacidade explicativa da hipótese direciona a formulação e seleção da melhor alternativa, e que tais considerações

²⁰ Partindo da citação podemos formatar a inferência da melhor explicação (IBE) liptoniana da seguinte forma: 1) um fenômeno F deve ser explicado; 2) partindo de conhecimentos e crenças anteriores, e diante de um conjunto de hipóteses explicativas rivais, inferimos a hipótese H (que, caso seja verdadeira, explica F); 3) conclusão: H nos fornece garantias de que é a melhor explicação de F.

²¹ A geração de hipóteses é influenciada pelas considerações explicativas em inferência da melhor explicação somente nos casos em que os cientistas buscam formular novas alternativas. Se, por outro lado, os cientistas se atêm unicamente às hipóteses já formuladas anteriormente, o primeiro filtro de inferência da melhor explicação opera numa seleção primária. Em ambos os casos, as considerações explicativas estão presentes como norteadoras dos processos inferenciais.

explicativas são evidenciadas através de virtudes explicativas – as quais nada mais são do que características que uma alternativa pode possuir e que influenciam o processo gerativo ou seletivo por parte do cientista.

Podemos perceber que o indicativo de comparação da maior plausibilidade, ou seja, a disputa para chegarmos à hipótese com maior poder explicativo, é orientado por duas importantes razões: i) se uma hipótese possui mais virtudes do que sua rival, ela é, portanto, mais elucidativa quanto ao modo funcionamento da causa do fenômeno, além da mera enunciação do que é a causa; e ii) se uma hipótese é mais virtuosa, ela poderá explicar de uma forma mais unificadora um maior conjunto de elementos do fenômeno do que suas rivais e por essa razão ela pode ser considerada mais explicativa – mais plausível.

O cerne da questão de Lipton é que o poder das considerações explicativas está presente tanto no primeiro filtro da inferência da melhor explicação (o qual pode se configurar como um processo de geração e/ou de seleção primária de alternativas), quanto no segundo filtro (que por sua vez se refere ao processo avaliativo final das considerações explicativas visando a escolha da hipótese com maior plausibilidade para explicar o fenômeno), pois em ambos os estágios os cientistas visam atender às duas dimensões explicativas dos fenômenos e o fazem vinculando o poder explicativo das hipóteses ao ato de inferir e selecionar explicações, conforme o duplo filtro proposto pela inferência da melhor explicação liptoniana.

Dessa forma, aceitando inferência da melhor explicação como um exemplo de raciocínio para elucidar tanto o processo de geração quanto o de seleção de hipóteses, as considerações explicativas estão presentes em ambos os processos, e isso fica mais evidente em casos onde há uma avaliação eliminativa entre hipóteses rivais, isto é, quando a avaliação opera de modo comparativo com outras alternativas candidatas à melhor explicação (Lipton, 2004, p. 150).

Além da forma eliminativa da inferência da melhor explicação acima mencionada, há outro modo de operar a inferência da melhor explicação pautada nas considerações explicativas da hipótese sem que haja uma disputa entre alternativas rivais. Esse tipo de seleção não eliminativa ocorre em casos em que não há um conjunto de hipóteses pré-elaboradas para explicar o fenômeno e, conseqüentemente, não

ocorre uma disputa comparativa entre alternativas disponíveis, mas há a necessidade de geração de uma explicação para o fenômeno²². Esses são os casos em que os filtros de inferência da melhor explicação (IBE) operam moldando a hipótese de acordo com a necessidade explicativa, sem abrir mão da plausibilidade. A alternativa só poderá ser considerada como a melhor explicação, caso o melhor seja bom o suficiente (Lipton, 2010, p. 317).

Dito em outras palavras: nos casos de inferência da melhor explicação não eliminativa, o raciocínio inferencial produz uma mais plausível sendo guiada pela relação entre as considerações explicativas da hipótese e as evidências do fenômeno, oferecendo, assim, uma alternativa que atenda às necessidades explicativas do fenômeno e que tenha sido gerada através da análise das virtudes explicativas, isto é, através de uma inferência da melhor explicação (se o melhor é suficientemente bom)²³.

Seguindo a orientação liptoniana de que as considerações explicativas guiam o processo inferencial (e, às vezes, inferencial-eliminativo), podemos dizer, em suma, que no primeiro estágio as considerações

²² Lipton oferece uma descrição interessante do processo de geração de uma hipótese explicativa no caso de inferência da melhor explicação não eliminativa, mostrando que, embora não haja alternativas rivais construídas para disputar com a hipótese avaliada, os cientistas buscam formular (e considerar), ao menos, uma hipótese que seja a negação da hipótese gerada para fins de avaliação de suas considerações explicativas. Todavia, apesar de não ser possível considerar todas as alternativas contrárias possíveis, isso não se faz necessário, visto que “basta que o cientista considere uma teoria e sua negação, ou a afirmação de que uma teoria tem uma probabilidade maior do que a metade e a afirmação de que ela não o tem, ou a afirmação de que X é a causa de algum fenômeno e a afirmação de que não o é, ou a afirmação de que uma entidade ou processo com propriedades especificadas existe ou não existe. Dado que os cientistas são plenamente capazes de considerar as contraditórias e que a premissa da classificação implica que, quando eles o fazem, eles se tornam capazes de determinar qual teoria é verdadeira [...]” (Lipton, 2010, p. 319).

²³ “Como se não bastasse, a inferência da melhor explicação parece particularmente vulnerável, pois dá a impressão de que ‘melhor teoria’ pode significar apenas ‘a melhor das teorias que foram produzidas’. Aqui também, contudo, as aparências podem ser enganosas. A ideia principal da inferência da melhor explicação, como afirmei, é simplesmente a de que considerações explicativas são um guia para a inferência, e isto não precisa ser articulado de um modo que torne a avaliação comparativa. Isto é, a inferência da melhor explicação poderia ser mais apropriadamente denominada, ainda que menos memoravelmente, de ‘inferência da melhor explicação se o melhor é suficientemente bom’” (Lipton, 2010, pp. 316-317).

delimitam o conjunto de explicações selecionadas ou geradas pelos cientistas através da noção de potencialidade, impedindo que hipóteses improváveis sejam analisadas. Já no segundo estágio, os cientistas buscam selecionar a hipótese que possui um maior número de virtudes apropriadas para a resolução do problema, ponderando qual delas, se verdadeira, explicaria melhor o fenômeno. Por fim, a hipótese eleita mais plausível é, conseqüentemente, mais provável de ser verdadeira, já que conseguiu explicar mais satisfatoriamente o fenômeno em questão²⁴.

Tendo esclarecido como funciona o modelo de explicação da inferência da melhor explicação, resta agora avaliar em que sentido essa proposta avança em comparação aos modelos já consolidados na literatura e em que medida é mais eficaz para iluminar os processos históricos ocorridos na construção do modelo molecular da dupla-hélice do DNA no século XX.

4 A INFERÊNCIA DA MELHOR EXPLICAÇÃO FRENTE AOS DEMAIS MODELOS DE EXPLICAÇÃO E A HISTÓRIA DA DUPLA-HÉLICE DO DNA

Os modelos de explicação brevemente expostos na seção anterior, envolvem concepções distintas sobre a natureza da explicação cientí-

²⁴ Pautado nas descrições listadas acima, tanto da *inference to the best explanation* em sua versão eliminativa quanto de sua versão não eliminativa (desde que o melhor seja bom o suficiente), pode-se reformular essa proposta de Lipton da seguinte forma: Inferência da melhor explicação eliminativa 1) um fenômeno F deve ser explicado; 2) partindo de conhecimentos e crenças anteriores, inferimos que o conjunto de hipóteses H*, composto pelas hipóteses H¹, H², H³, Hn... , geradas ou selecionadas, possui, dadas suas virtudes explicativas, as alternativas potenciais para explicar F; 3) partindo de conhecimentos e crenças anteriores, inferimos que a hipótese H¹ do conjunto de hipóteses H*, dadas suas virtudes explicativas, é mais plausível que suas rivais e que, portanto, se verdadeira, explicaria melhor F; 4) e considerando que maior plausibilidade implica maior probabilidade de verdade, então H¹ é a melhor explicação de F. Inferência da melhor explicação não eliminativa (se o melhor for bom o suficiente): 1) um fenômeno F deve ser explicado; 2) partindo de conhecimentos e crenças anteriores e não havendo uma disputa entre alternativas rivais, geramos a hipótese H, a qual, dadas suas considerações explicativas e sua relação com as evidências, se verdadeira, é boa e plausível o suficiente para ser a melhor explicação de F; 3) e considerando que maior plausibilidade implica maior probabilidade de verdade, então H é a melhor explicação de F.

fica e conseguem iluminar alguns pontos acerca dessa importante questão filosófica. Seja concebendo a explicação científica como um argumento do qual se extraem dedutivamente conclusões de leis universais ou estatísticas, ou como um conjunto de sentenças que clarificam quais os elementos probabilisticamente relevantes para a ocorrência de um fato ou, como uma resposta a uma questão-por-que guiada pelo contexto. Temos como mote principal que a natureza da explicação científica é complexa e envolve elementos de ordens diversas, sendo, portanto, difícil a tarefa de explicar objetiva e definitivamente o que é a explicação científica através dos modelos aqui abordados, visto que todos eles apresentam limitações diante de certas circunstâncias, mas podem funcionar em casos específicos e pontuais – mas não em todos.

Entretanto, essa possível aplicabilidade dos modelos clássicos descritos anteriormente se restringe a uma mera conceitualização abstrata²⁵ do que seria uma explicação científica, não sendo capaz de explicar os processos de geração e seleção de uma explicação no interior do empreendimento científico real – isto é, o modo como as hipóteses explicativas são produzidas e selecionadas pelos próprios cientistas dentro dos seus laboratórios.

Essa relação aparentemente limitada e abstrata no que tange à prática científica transparece ao analisar os problemas em que os modelos de explicação clássicos incorrem. Percebe-se que, ora tais modelos são incapazes de abarcar todas as formas de explicação que possuímos na ciência (tais como os modelos nomológico-dedutivo e indutivo estatístico), ora são confusos ou podem ser aplicados arbitrariamente, seja com um *explanans* relevante para seu contraditório (como o caso do modelo de relevância estatística de Salmon, seja com a permissividade de que a proposição explicativa relevante possa incluir quase qualquer elemento, perdendo, dessa forma, o caráter objetivo e único da explicação científica (tal como o modelo pragmático de Van Fraassen).

²⁵ O termo “abstrato” aqui mencionado não deve ser interpretado de forma pejorativa. Os modelos de explicação descritos oferecem importantes contribuições para a compreensão da natureza do conhecimento científico e contribuíram para o desenvolvimento e aprofundamento de discussões desse teor. Todavia, podem ser descritos como abstratos, pois não se pautam no desenvolvimento da ciência, mas sim em concepções metateóricas. Em filosofia da ciência não é incomum o uso de exemplos abstratos que visam retratar situações reais, estejam eles relacionados ao senso-comum ou a experimentos de pensamento.

Considerando a complexidade com que os modelos clássicos se deparam ao não se aplicar a todas as possibilidades de explicações que existem nas ciências e sua relação limitada com o processo científico real, evidente quando não se propõe a oferecer uma explanação acerca do processo de geração das explicações científicas, vários outros modelos teóricos foram propostos como complementares aos já consolidados. Um desses modelos é a inferência da melhor explicação de Peter Lipton.

Essa nova forma de interpretar a natureza da explicação científica, ao menos aparentemente, não incorre nos problemas que afligem as explicações mencionadas (modelo nomológico-dedutivo, modelo indutivo-estatístico e modelo de relevância estatística), visto que o modelo de inferência da melhor explicação não reduz a explicação científica somente a resultados deduzidos de leis naturais ou estatísticas, e, portanto, pode, em tese, abarcar mais episódios da história da ciência. Ademais, não cai no problema da assimetria, já que não afirma que toda explicação científica é unicamente uma composição de proposições que expõe os fatores relevantes para a ocorrência de um fenômeno. Mesmo que o modelo de inferência da melhor explicação aceite que o contexto é relevante para a inferência de uma explicação, isso não significa que aceite que qualquer explicação possa depender do contexto, pois as considerações explicativas delimitam o que é plausível e não-plausível a ser considerado em uma hipótese explicativa na ciência.

Posto isso, é justo que o modelo de inferência da melhor explicação proposto por Lipton seja considerado como uma proposta digna de atenção pela comunidade filosófica e também ocupe um papel de destaque nas discussões acerca da natureza e dinâmica das explicações científicas.

Não obstante, embora o modelo de inferência da melhor explicação aparentemente seja uma opção viável para explicar a natureza (e a geração e seleção) das hipóteses explicativas na ciência, é necessário que o modelo seja realmente passível de explicar episódios históricos da ciência, pois, caso contrário, não passaria de uma proposta normativa abstrata e sem conexão com a prática científica real.

Portanto, um dos objetivos centrais do presente trabalho é mostrar que o modelo de explicação proposto por Lipton, que pressupõe que as considerações explicativas são guias para o processo inferencial, é,

realmente, uma ferramenta capaz de elucidar episódios da história da ciência contemporânea, como, por exemplo, a construção da dupla-hélice do DNA no século XX.²⁶

As origens do episódio discutido neste artigo remontam ao desejo de James Watson de elucidar a estrutura molecular do DNA, a fim de encontrar uma resposta ao problema da hereditariedade. Ele foi motivado pela leitura da obra *O que é a vida?*, de Erwin Schrödinger (1946), que levantava a hipótese de que a resposta estaria relacionada a uma base físico-química.

Watson, era um pós-doutorando norte-americano no Laboratório Cavendish da Universidade de Cambridge, Reino Unido, em 1951, quando conheceu Francis Crick, um doutorando que decidiu abandonar as discussões da física, às quais se dedicava até então, aventurando-se na biologia²⁷.

A dupla de cientistas em questão se tornou mundialmente conhecida em 1953 ao publicarem o artigo “A structure for deoxyribose nucleic acid” em *Nature*, apresentando a estrutura helicoidal de duas fitas para o DNA. Porém, antes da confirmação da hipótese apresentada no artigo, o processo de construção do referido modelo envolveu vários processos de diversos tipos tais como: a adoção da metodologia de Linus Pauling; a adequação da estrutura às Leis de Chargaff e a técnica fotográfica utilizando cristalografia de raios-X, antes da proposta de um sequenciamento de bases nitrogenadas que também explicasse a replicação dos genes (Olby, 1974, p. 416; Silva, 2010a, pp. 378-379; Silva, 2010b, p. 73).

A escolha desse episódio histórico específico se deu em razão de que Watson e Crick, os proponentes do modelo de dupla-hélice para o

²⁶ A história da descoberta do DNA como um todo é bem complexa e envolve o trabalho de vários cientistas. No presente artigo busquei me ater ao recorte específico da construção do modelo (ou descoberta) da estrutura molecular do DNA pela dupla de cientistas Watson e Crick. Caso o leitor se interesse por um panorama breve, porém mais abrangente acerca de toda a história do DNA, ver: Andrade e Caldeira (2009); Piro (2014).

²⁷ Crick se dedicou ao estudo do comportamento de um certo tipo de vírus (o bacteriófago). Interessou-se também pelo estudo dos genes. Juntamente com Watson, empenhou-se na complexa tarefa de buscar uma explicação para a estrutura molecular do DNA acreditando que essa explicação explicaria também a hereditariedade genética.

ácido desoxirribonucleico (DNA), não apresentarem um resultado deduzido de leis universais, não indicarem fatores estatisticamente relevantes para a ocorrência do fenômeno ou simplesmente procurassem responder a uma questão-por-quê. Adicionalmente, por não terem construído aleatoriamente uma resposta esperando que ela simplesmente funcionasse ou aceitando arbitrariamente qualquer explicação possível. Na verdade, esses dois cientistas foram guiados por considerações explicativas evidenciadas pelas virtudes já mencionadas anteriormente, a saber: unificação, alcance explicativo, simplicidade (e beleza), fecundidade, adequação empírica e analogia ao conhecimento anterior estabelecido, a fim de oferecer uma explicação causal ao problema da hereditariedade nos marcos da nascente genética molecular. Listarei aqui alguns exemplos da aplicação de virtudes explicativas como guias do processo inferencial por parte dos cientistas a fim de evidenciar minha tese.

Um desses exemplos foi a adoção de estratégias que utilizavam arranjos químicos e/ou geométricos, bem como imagens da molécula do DNA obtidas através da técnica de difração de raio-X com analogias ao conhecimento anterior, isto é, o estabelecimento de uma relação com o conhecimento já consolidado e aceito pela comunidade científica. Neste caso, a dupla do Laboratório de Cavendish se beneficiou dessa virtude pois o respeitado físico e biólogo William T. Astbury já empregava e divulgava essas técnicas para estudar o DNA desde, pelo menos, o ano de 1946, quando ocorreu um simpósio sobre o tema em Cambridge que fora organizado pela Sociedade Experimental de Biologia (Andrade & Caldeira, 2009, p. 147).

O uso das Leis de Chargaff também pode ser apontado como outro exemplo de analogia com o conhecimento anterior estabelecido (Silva & Minikoski, 2017, pp. 63-64). Antes que Watson e Crick propusessem a estrutura de dupla-hélice tal como a concebemos hoje, eles procuraram obter evidências da disposição dos elementos contidos na cadeia de fosfato do DNA para explicar a transmissão do material genético através da estrutura helicoidal dupla. Ao tomarem conhecimento das investigações do bioquímico Erwin Chargaff (1905-2002), que mostravam a existência de uma regularidade na disposição das bases nitrogenadas da cadeia de fosfato do DNA (Leis de Chargaff), os cientistas

puderam estruturar um modelo que contemplava o conhecimento consolidado e oferecer uma resposta à questão da transmissão do material genético (Watson & Crick, 1953, p. 965).

O fato da estrutura molecular do DNA proposta sugerir ainda que seria útil para a compreensão da transmissão do material hereditário, também se encaixa em uma virtude explicativa que corroboraria a adoção do modelo, a saber: a fecundidade, isto é, a possibilidade de uma hipótese explicativa exceder os limites iniciais e possibilitar um maior entendimento de outros fenômenos relacionados. Lipton comenta:

[As] considerações explicativas também podem desempenhar um papel crucial na preferência dos cientistas por hipóteses que prometem ser férteis, isto é, que explicam fenômenos além daqueles que estão diretamente sob o exame da inferência naquele momento (Lipton, 2001, p. 94).

Muitas vezes, no momento de geração de uma nova hipótese científica, seus propositores não estão tão certos acerca de todo o potencial de fecundidade. Todavia, graças ao alcance explicativo da hipótese, ou seja, o poder de compreensão que uma alternativa oferece para certo conjunto de fatos naquele momento²⁸, uma nova teoria ou hipótese pode se mostrar como mais promissora oferecendo indícios de que possibilitará desenvolvimentos futuros – o que contribui também para sua aceitação. O caso da dupla-hélice é um exemplo de como esse poder explicativo se mostrou eficaz e contribuiu para que a comunidade científica adotasse a proposta de ok e Crick, na medida em que ajudou no entendimento do sequenciamento e replicação dos genes (Mayr, 1998).

O próprio Watson, ao discorrer em seu livro *A dupla-hélice: como descobri a estrutura do DNA*, apresenta outros indícios de como algumas virtudes explicativas foram importantes para a construção e aceitação do modelo molecular em questão. Um desses exemplos é o que se segue:

²⁸ Dessa forma, as virtudes de fecundidade, alcance explicativo e unificação (que será explicitada a seguir) acabam interrelacionadas e com poucas nuances entre si a depender do autor em questão. Diferente de outros filósofos, como Thagard, por exemplo, o próprio Lipton (2004, p. 139) busca reunir todos esses aspectos.

Uma carta de Delbrück que recebi logo após voltar de Paris, em 18 de março, revelou que Pauling já sabia de tudo. Na época, isso não nos incomodou, porque as evidências a favor dos pares de bases eram crescentes. Um pedaço-chave de informação fora obtido no Instituto Pasteur. Lá, eu encontrara Gerry Wyatt, um bioquímico canadense que conhecia muito bem as razões entre as bases do DNA. Ele havia analisado o DNA dos grupos de bacteriófagos T2, T4 e T6. Nos dois anos anteriores, diziam que esse DNA tinha a propriedade estranha de ausência de citosina, uma característica obviamente impossível para nosso modelo. Mas Wyatt dizia agora que ele, junto com Seymour Cohen e Al Hershey, tinha evidências de que esses fagos continham um tipo modificado de citosina chamado 5-hidroximetilcitosina. Mais importante ainda, essa quantidade equivalia à quantidade da guanina. Isso apoiava lindamente a dupla hélice, porque a 5-hidroximetilcitosina deveria ser ligada a hidrogênio, como a citosina. A grande precisão dos dados, que ilustrava melhor do que qualquer trabalho analítico prévio a equivalência de adenina com timina e de guanina com citosina, também foi uma satisfação (Watson, 2014, cap. 29, pos. 2.179).

O relato acima reproduzido torna explícito como os conceitos de unificação (a possibilidade de abarcar outro fenômeno já previsto na nova hipótese) e a adequação empírica (o acordo entre os fatos experimentais descobertos no laboratório e a estrutura teórica) foram cruciais para que a dupla de cientistas insistisse em sua ideia, visto que ela estava de acordo com o que havia sido explorado e considerado por seus pares e se encaixava melhor nas evidências disponíveis – diferentemente do modelo rival de tripla-hélice apresentado por Linus Pauling (Pauling & Corey, 1953). Este último, posteriormente, mostrou-se insuficiente por razões estruturais, já que “as bases nitrogenadas estariam livres na parte externa, dando ao ácido características básicas, e os fosfatos que, ao ocuparem o interior da molécula, sofreriam a repulsão de suas cargas” (Andrade & Caldeira, 2009, p. 150-160).

Podemos dizer ainda que o insucesso do modelo de tripla-hélice de Pauling está assentado na sua fraca conexão com o conhecimento anterior estabelecido. A sua limitação no que tange à fragilidade da estrutura não era plausível, ao menos para a Watson e Crick. Em suas palavras:

A estrutura do ácido nucleico já havia sido proposta por Pauling e Corey. Eles gentilmente disponibilizaram seu manuscrito para nós antes

da publicação. O modelo deles consiste em três cadeias entrelaçadas, com os fosfatos perto do eixo da fibra e as bases do lado de fora. Em nossa opinião, esta estrutura é insatisfatória por duas razões: nós acreditamos que o material que dá os diagramas dos raios-X é o sal, não o ácido livre. Sem os átomos de hidrogênio, não está claro qual forças poderiam manter as estruturas juntas, especialmente as cargas de fosfato negativas que estão próximas do eixo e irão repelir-se (Watson & Crick, 1953, p. 737).

Ainda sobre a virtude de adequação empírica, vale ressaltar que foram as fotografias de raio-X do DNA produzidas pelas técnicas de cristalografia de Rosalind Franklin (1920-1958) que guiaram a construção do modelo molecular da dupla de Cavendish (Crouse, 2007). Isso, por si só, é um exemplo de como a observação de fatos empíricos, aliada ao arcabouço técnico e teórico do conhecimento de fundo da comunidade científica, oferece *insights* que direcionam o processo de formulação de novas hipóteses (e não se faz importuno lembrar que esse é um fato não contemplado ou explorado pelas teorias filosóficas de explicação tradicionais).

Por fim, mais um último exemplo de como as considerações explicativas estão presentes no empreendimento científico, é a aceitação do modelo final de Watson e Crick por parte de seus pares, antes relutantes, tais como Franklin, Lawrence Bragg (1890-1971) e Maurice Wilkins (1916-2004). Segundo de Watson (2014, cap. 27, pos. 1.970), ao se depararem com a simplicidade e beleza (harmonia dos elementos teóricos dispostos e ausência de elementos *ad hoc* excessivos) do modelo de dupla-hélice, seus colegas ficaram satisfeitos e consideraram impossível uma estrutura tão simples, ou seja, capaz de responder a todas as questões em voga além de ser estruturalmente bela e coesa, não existir verdadeiramente.

Após essa breve imersão em alguns pontos relevantes da história da dupla-hélice do DNA e de acordo com a proposta filosófica de Lipton, pode-se retratar a inferência do modelo de Watson e Crick como uma inferência da melhor explicação do seguinte modo:

- 1) A estrutura do DNA deve ser explicada;
- 2) Partindo de conhecimentos anteriores e guiados por considerações explicativas, Watson e Crick apresentam o modelo de dupla-hélice que:

- 2.1) é mais plausível que o modelo de tripla-hélice de Pauling;
- 2.2) se verdadeiro, é bom e plausível o suficiente para explicar a estrutura molecular do DNA (e também auxiliar na compreensão do processo de replicação do material genético);
- 3) Considerando que maior plausibilidade implica maior probabilidade de verdade, julga-se, então, que o modelo de dupla-hélice é a melhor explicação da estrutura molecular do DNA.

Em suma, pode-se afirmar que a conclusão dos dois cientistas foi fruto de um processo gerativo e seletivo orientado pelas virtudes explicativas, tal como admitido pelo modelo liptoniano de inferência da melhor explicação, para um problema até então sem solução, e a conclusão apresentada pela dupla de Cavendish, fruto de uma metodologia diversa (e não explorada epistemologicamente por filósofos da ciência com seus modelos tradicionais), foi gradualmente aceita pela comunidade internacional como uma explicação científica legítima (Olby, 2003), possibilitando, inclusive, os desenvolvimentos posteriores da biologia molecular.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intento do presente artigo foi discutir em que medida os modelos de explicação presentes na literatura de filosofia da ciência podem clarificar a importante questão acerca da natureza do conhecimento científico. Também foi intenção investigar a aplicabilidade de tais propostas filosóficas à pluralidade de modos de se fazer ciência presentes na história da ciência – especificamente, ao modo peculiar adotado por Watson e Crick no século XX na construção do modelo de dupla-hélice do DNA e que contribuiu para o desenvolvimento da biologia moderna.

Segundo minha argumentação, o modelo mais adequado para este fim, ao menos no interior da tradição analítica (tanto por não incorrer nos problemas dos modelos clássicos, quanto por não desconsiderar a atividade da dupla de Cavendish como uma possibilidade factível) é o modelo de inferência da melhor explicação de Lipton com suas considerações e virtudes explicativas, dado que a hipótese e modelo de hélice

helicoidal dupla para a estrutura do DNA não foram construídos através de leis universais ou estatísticas, nem consistem em uma mera resposta pragmática que desconsidera os valores epistêmicos que guiaram o processo inferencial.

As vantagens da inferência da melhor explicação perante suas concorrentes, nesse sentido, recaem na abertura que essa proposta filosófica oferece ao lançar mão de um número de variados elementos interpretativos para casos históricos, o que vai além da rigidez lógico-matemática própria da física e dos modelos outrora formulados,²⁹ visto que este modelo considera, também, outros aspectos e modos de se fazer e interpretar a ciência para além de uma análise lógico-formal das teorias.³⁰ Todavia, não pretendo aqui oferecer uma defesa cega do modelo

²⁹ É sabido, pois, que a Filosofia da Ciência utilizou a Física e suas subdisciplinas como “ciência modelo” para tecer suas reflexões e isso, obviamente, impactou profundamente a escassez e ineficiência de abordagens de cunho filosófico-analítico voltadas para outras áreas científicas por grande parte do século XX. Esse modo de proceder se deve, em grande parte, porque muitos dos filósofos da ciência do início do século passado também eram físicos de formação, além do fato de a Física estar passando por um momento de grande revolução, com o advento da *teoria da relatividade* e o nascimento da *física quântica*, o que fez com que muitos voltassem seus olhares unicamente para essa disciplina científica e as questões suscitadas acerca dos seus fundamentos. Todavia, podemos pensar que uma maior pluralidade de análises teria sido benéfica para a filosofia da ciência como um todo também nessa época, na medida em que se passaria a conceber que, a depender do ramo científico em questão, os cientistas podem empregar métodos ou até estilos ou formas de raciocínio distintos. Essa visão mais plural que vislumbra as diferentes formas de produção do saber científico (sem realizar uma hierarquização de disciplinas) tardou um pouco para se tornar mais expressiva na comunidade acadêmica de filósofos da ciência.

³⁰ É importante frisar que os filósofos que construíram os modelos clássicos também se propuseram, algumas vezes, a ilustrar episódios históricos sob a luz de suas propostas filosóficas. Um desses casos é o apresentado por Hempel (1974, pp. 11-19), em que o autor busca ilustrar o famoso caso da febre puerperal e as hipóteses do médico húngaro Ignaz Semmelweis como um exemplo da aplicação de suas ideias acerca dos processos de produção e teste de hipóteses na ciência. A questão é que Hempel, mesmo que tenha se proposto a fazer uma reconstrução fidedigna e não enviesada dos fatos (o que alguns alegam não ser o caso [Oliveira & Fernandez, 2007]), o autor não levou em consideração outros elementos além dos lógico-formais envolvidos nos processos de formulação das hipóteses do cientista, reduzindo, dessa forma, sua reconstrução somente a alguns elementos e ignorando outros – os quais são contemplados pelo modelo de *Inference to the Best Explanation*, fazendo deste modelo mais conveniente em algumas circunstâncias, sobretudo para a leitura de episódios históricos com uma

de inferência da melhor explicação, mas somente utilizá-lo como uma ferramenta explanatória para a compreensão do caso histórico supra-mencionado dentro dos limites possíveis. É importante reconhecer também algumas limitações que essa ferramenta possui, sobretudo quanto à sua aplicabilidade no caso histórico, visto que não leva em consideração alguns aspectos sociais que poderiam ter influenciado as atividades dos cientistas³¹, ou uma possível dimensão subjetiva nos processos de análise das considerações explicativas³².

Concluo deixando em aberto uma questão que merece ser considerada daqui em diante: aprimorar o modelo de Lipton, procurando suprir suas possíveis lacunas para que ele possa auxiliar na clarificação de outros episódios históricos. Essa tarefa, todavia, excede, ao menos no momento, as intenções do autor deste artigo.

maior precisão dos fatos. O próprio Lipton, inclusive, busca evidenciar em sua obra (2004, cap. 05) que o modelo de IBE é muito mais viável para elucidar o episódio da febre puerperal do que a proposta de Hempel.

³¹ Uma dessas deficiências fica evidente quando Watson e Crick decidiram acatar a sugestão de Jerry Donohue que contrariava os manuais de química orgânica da época, o que indica um possível momento de conflito com uma das virtudes explicativas de IBE: o conservadorismo ou coerência com o conhecimento anterior. Isso pode nos sugerir que se deve pensar em “blocos não hegemônicos” de conhecimento anterior que podem variar de acordo com a formação intelectual de um cientista ou grupo de cientistas (Sardi, 2020, pp. 148-149). Esse ponto de contenda, entretanto, não deslegitima o valor da proposta liptoniana, principalmente no tocante aos avanços que ela representa diante de outras teorias da explicação. De toda forma, uma possível saída para esse tipo de questão poderia ser, talvez, a construção de uma nova abordagem que unificasse as ideias trazidas por Lipton, como a escolha de teorias pautada em certos valores, com abordagens sociológicas da ciência, tal como a defendida por Bruno Latour (2011), na qual busca considerar os eventos sociais que supostamente exerceram influência sobre os cientistas em seus momentos de tomadas de decisões, mas sem desconsiderar por completo os elementos de ordem epistemológica. Porém, uma empreitada filosófica desse tipo pode exigir um complexo trabalho de conciliação de sistemas teóricos, o que vai muito além dos objetivos aqui traçados.

³² Lipton não aprofundou a questão da existência de uma possível influência de fatores subjetivos nos processos de avaliação das considerações ou virtudes explicativas das hipóteses. A saída encontrada pelo autor, e condizente com sua postura realista científica, é a crença depositada na já explorada noção de conhecimento anterior, visto que esse conhecimento de fundo seria comum à grande parte da comunidade científica e funcionaria como um filtro universal que impediria que elementos subjetivos de um cientista influenciassem a análise de todos os demais, fazendo com que sempre os valores cognitivos, as virtudes explicativas, sejam predominantes no desenvolvimento da ciência em uma perspectiva mais global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHINSTEIN, P. *The nature of explanation*. New York: Oxford University Press, 1983.
- ANDRADE, Mariana Aparecida Bologna Soares de Andrade; Ana Maria de Andrade Caldeira. O modelo de DNA e a biologia molecular: inserção histórica para o ensino de biologia. *Filosofia e História da Biologia*, **4**: 139-165, 2009. Disponível em: <https://www.ab-fhib.org/FHB/FHB-04/FHB-v04-05-Mariana-Andrade-Ana-Maria-Caldeira.pdf>
- BROMBERGER, Sylvian. Why-questions. Pp. 86-111, in: COLODNY, Robert G. (ed.). *Mind and cosmos: Essays in contemporary science and philosophy*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1966.
- CAMPOS, Daniel G. On the distinction between Peirce's abduction and Lipton's inference to the best explanation. *Synthese*, **180** (3): 419-442, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9709-3>
- CARTWRIGHT, Nancy. Causal laws and effective strategies. *Noûs* **13** (4): 419-437, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2215337>
- CASTRO, Eduardo G. Explicação científica. Pp. 1-39, in: BRANQUINHO, João; SANTOS, Ricardo (eds). *Compêndio em linha de problemas de filosofia analítica*. Lisboa: Centro de Filosofia da Universidade de Lisboa, 2020.
- CROUSE, David. X-ray Diffraction and the discovery of the structure of DNA: A tutorial and historical account of James Watson and Francis Crick's use of X-ray diffraction in their discovery of the double helix structure of DNA. *Journal of Chemical Education*, **84** (5): 803-809, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed084p803>
- DOWE, Phil. *Physical causation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- FRIEDMAN, M. Explanation and scientific understanding. *The Journal of Philosophy*, **71** (1):5-19, 1974. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2024924>

- HARMAN, Gilbert. [1965]. Inferência da melhor explicação. Trad. Marcos Rodrigues da Silva; Mirieli Sicote de Lima. *Dissertatio*, **47**: 325-332, 2018.
- HEMPEL, Carl. *Filosofia da ciência natural*. Trad. Plínio S. Rocha. Rio de Janeiro: Zahar Editora, 1974.
- HEMPEL, Carl; OPPENHEIM, Paul. Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science*, **15** (2): 135-175, 1948.
- KITCHER, Philip. Explanatory unification and the causal structure of the world. Pp. 410-505, *in*: SALMON, Wesley; KITCHER, Philip (eds). *Scientific explanation*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1989.
- KITCHER, Philip; SALMON, Wesley. Van Fraassen on explanation. *The Journal of Philosophy*, **84** (6): 315-330, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2026782>
- LATOUR, Bruno. *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. Trad. Ivone C. Benedetti. São Paulo: Editora Unesp, 2011.
- LIPTON, Peter. Is explanation a guide to inference? A reply to Wesley C. Salmon. Pp. 93-120, *in*: HON, Giora; RAKOVER, Sam S. (orgs.). *Explanaton: Theoretical approaches and applications*. New York: Springer, 2001.
- LIPTON, Peter. *Inference to the best explanation*. London: Routledge, 2004.
- LIPTON, Peter. É o melhor bom o suficiente? Tradução de Marcos Rodrigues da Silva e Alexandre Meyer Luz. *Princípios*, **17** (27), 2010.
- MAYR, E. *O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança*. Trad. Ivo Martinazzo. Brasília: Editora da UNB, 1998.
- MOULINES, Carlos Ulises. *O desenvolvimento moderno da filosofia da ciência (1890-2000)*. Trad. Cláudio Abreu. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia, 2020.
- OLBY, Robert *The path to the double helix*. London: MacMillan, 1974.
- OLBY, Robert. Quiet debut for the double helix. *Nature*, **421**: 402-405, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature01397>
- OLIVEIRA, Marcos B.; FERNANDEZ, Brena Paula M. Hempel, Semmelweis e a verdadeira tragédia da febre puerperal. *Scientiae Studia*, **5** (1): 49-79, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-31662007000100004>

- PAULING, Linus; COREY, Robert B. A proposed structure for the nucleic acids. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **39** (2): 84-97, 1953. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.39.2.84>
- PIRO, Oscar E. Breve historia del ADN, su estructura y función. *Ciencia e Investigación*, **64** (3): 25-50, 2014. Disponível em: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/142843/Documento_completo.pdf?sequence=1
- SALMON, Wesley. *Scientific explanation and the causal structure of the world*. Princeton: Princeton University Press, 1984.
- SALMON, Wesley. *Four decades of scientific explanation*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1989.
- SALMON, Wesley. *Causation and explanation*. New York: Oxford University Press, 1998.
- SALMON, Wesley. Statistical Explanation. Pp. 29-87, in: SALMON, Wesley; JEFFREY, Richard; GREENO, James. *Statistical explanation and statistical relevance*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, 1971.
- SARDI, Gabriel C. Uma análise latouriana do conceito de conhecimento anterior e seu emprego no realismo científico. *Kinesis*, **12** (31): 133-151, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36311/1984-8900.2020.v12n31.p133-151>
- SARDI, Gabriel C. Algumas distinções entre a abdução de Charles S. Peirce e a inferência da melhor explicação de Gilbert Harman. *Problemata -Revista Internacional de Filosofia*, **13** (2): 62-80, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.7443/problemata.v13i2.60451>
- SCHRODINGER, Erwin. *What is life?* The physical aspect of the living cell. Cambridge: Cambridge University Press, 1946.
- SCRIVEN, Michael. Explanations, predictions, and laws. Pp. 170-230, in: FEIGL, Herbert; Maxwell, GROVER (eds.) *Scientific explanation, space, and time (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, 3)*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962.
- SILVA, Marcos Rodrigues da. As controvérsias a respeito da participação de Rosalind Franklin na construção do modelo da dupla hélice. *Scientiae Studia*, **8** (1): 69-92, 2010a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-31662010000100004>

- SILVA, Marcos Rodrigues da. Maurice Wilkins e a polêmica acerca da participação de Rosalind Franklin na construção do modelo da dupla hélice do DNA. *Filosofia e História da Biologia*, **5** (2): 369-384, 2010b. Disponível em: <https://abfhib.org/FHB/FHB-05-2/FHB-5-2-19-Marcos-Rodrigues-da-Silva.pdf>
- SILVA, Marcos Rodrigues da; MINIKOSKI, Debora. A Filosofia da Ciência e o Conhecimento Anterior. *Problemata -Revista Internacional de Filosofia*. **8** (3): 54-68, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.7443/problemata.v8i3.35215>
- SILVA, Marcos Rodrigues da; SARDI, Gabriel C. A distinção entre abdução e inferência da melhor explicação: a abordagem de Daniel Campos. *Cognitio*, **21** (2): 321-334, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.23925/2316-5278.2020v21i2p321-334>
- THAGARD, Paul. [1978]. A melhor explicação: critérios para a escolha de teorias. Trad. Marcos Rodrigues da Silva. *Cognitio*, **18** (1): 145-160, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.23925/2316-5278.2017v18i1p145-160>
- VAN FRAASSEN, Bas. *A imagem científica*. Trad. Luiz Henrique Dutra. São Paulo: Discurso Editorial, 2007.
- WATSON, James D. *A dupla-hélice: como descobri a estrutura do DNA*. Versão e-book. Trad. Rachel Botelho. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2014.
- WATSON, James D.; CRICK, Francis H. C. Molecular structure of nucleic acids: A structure for desoxyribose nucleic acid. *Nature*, **171**: 737-738, 1953. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/171737a0>

Data de submissão: 29/07/2022

Aprovado para publicação: 03/03/2023