

## É possível reabilitar o empirismo no Ensino de Ciências? Virtude pragmática sob a ótica antirrealista de Bas van Fraassen

### Is it possible to rehabilitate empiricism in Science Teaching? Pragmatic virtue from the anti-realist perspective of Bas van Fraassen

 Juliana Machado<sup>1</sup>

 Marcelo Gonzaga Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.  
Autora Correspondente: [juliana.machado@cefet-rj.br](mailto:juliana.machado@cefet-rj.br)

**Resumo:** Examinamos aspectos da falência do ideal positivista na Ciência e de sua associação com o empirismo, particularmente no contexto do ensino de ciências. Argumentamos, contra uma pressuposição comum neste contexto, que o empirismo não é necessariamente associado ao positivismo. Para isso, apresentamos como contraexemplo a concepção epistemológica antirrealista do filósofo holandês Bas C. van Fraassen: o empirismo construtivo. Destacamos, na obra do autor, sua concepção pragmática da explicação e apontamos possíveis contribuições de suas ideias ao ensino. A partir desse referencial, mostramos que a desmistificação da ciência como verdade é um ideal compatível com o empirismo e que a atribuição de sentido ao conhecimento científico não requer aceitá-lo como verdadeiro.

**Palavras-chave:** Ensino de ciências; Epistemologia; Empirismo; Positivismo; Pragmatismo; Bas C. van Fraassen.

**Abstract:** We examine aspects of the failure of the positivist ideal in Science and its association with empiricism, particularly in the context of science teaching. We argue, against a common assumption in this context, that empiricism is not necessarily positivist. For this, we present as a counterexample the anti-realist epistemological conception of the Dutch philosopher Bas C. van Fraassen: constructive empiricism. We highlight, in the author's work, his pragmatic conception of explanation and we point out possible contributions of his ideas to teaching. From this framework, we show that the demystification of science as truth is an ideal compatible with empiricism and that the attribution of meaning to scientific knowledge does not require accepting it as true.

**Keywords:** Science teaching; Epistemology; Empiricism; Positivism; Pragmatism; Bas C. van Fraassen.

Recebido em: 11/2/2022  
Aprovado em: 3/6/2022



## Introdução

Desde as últimas décadas, o termo *positivista* tem encontrado uma conotação tão negativa, no contexto das ciências humanas e sociais, que se tornou uma das piores culpas que se pode imputar academicamente a alguém. Acusar uma pessoa, discurso ou prática de positivista tornou-se uma forma automática de desqualificar qualquer posicionamento, sem necessidade de mais explicações ou justificativas. Na mesma sintonia, o termo *empirismo* herdou a má-reputação, por uma espécie de "culpa por associação", já que muitos igualam ou fundem os dois posicionamentos (KINCHELOE; TOBIN, 2009; MATTHEWS, 2004). Parece existir um amplo consenso de que ambos são coisas terríveis. Mas, o que afinal é o positivismo? Será que o empirismo realmente é indissociável desta doutrina? Até que ponto é justificada a aversão a estas concepções?

Não há dúvidas de que a abordagem denominada de *empirismo lógico* se desenvolve em forte associação à concepção positivista como um todo, inclusive com a primeira sendo, por vezes, definida como uma designação alternativa da segunda (BRANQUINHO; GOMES; MURCHO, 2006). Com o desmoronamento do movimento positivista, principalmente a partir da segunda metade do século XX, a principal alternativa que surge para preencher a lacuna deixada passa a ser o realismo científico, concepção que, mais tarde, exerce também influência sobre a pesquisa em ensino de ciências (ARTHURY; GARCIA, 2020; MATTHEWS, 2021; PIETROCOLA, 1999). Porém, falta reconhecer que, como frequentemente ocorre quando há o embate entre duas posições rivais, também nesse caso surge uma terceira via, que é exemplificada pela concepção antirrealista de Bas C. van Fraassen. Trata-se de uma posição que resgata o domínio empírico, evitando os excessos do construtivismo (PIETROCOLA, 1999) ao mesmo tempo em que nega que o objetivo da ciência seja a busca pela verdade (como queria o realismo científico).

Nas páginas que seguem iremos argumentar que o empirismo não é necessariamente de matriz positivista, ao contrário do que se pressupõe comumente na pesquisa em ensino de ciências. Para isso, começamos por apontar aspectos da influência do positivismo nesse contexto e documentar sua má reputação, bem como sua associação com o empirismo. Na sequência, examinamos o que é de fato o positivismo e quais as causas de sua ruína. A partir da dicotomia entre essa doutrina e o realismo científico, apresentamos então a alternativa oferecida pelo empirismo construtivo de Bas van Fraassen, discutindo algumas das possíveis contribuições de suas ideias para a reflexão acerca de questões pertinentes à natureza do conhecimento científico em sala de aula.

## Positivismo e empirismo no ensino de ciências: ascensão e queda

A influência do pensamento positivista na constituição do ensino de ciências no Brasil é bastante documentada. Ao investigarem os fundamentos filosóficos do ensino de Física, Braga, Guerra e Reis (2008) apresentam um resgate histórico que nos situa ao momento em que cientistas influentes rompem com a metafísica e constroem um programa científico na busca de um empirismo puro. Esse programa é identificado em obras didáticas francesas do século XIX, seguindo um modelo que mais tarde foi 'importado' para o Brasil. O modelo francês, que empreendeu um grande projeto de reescrever o conhecimento acumulado pela Física e pela Química visando a neutralização de qualquer vestígio de metafísica, norteava-se pelo ideal positivista. Em razão dessa influência, os autores caracterizam a concepção de ciência vinculada à educação científica como sendo de natureza dogmático-

instrumental: instrumental pelo conhecimento adquirido a partir da prática experimental e demonstrativa, e dogmático por excluir do ensino-aprendizado o processo de produção daquele conhecimento. Sendo assim, a ciência perde o sentido de empreendimento humano, e é caracterizada como um produto pronto e acabado. Essa concepção passou a ser incorporada por toda a educação científica (BRAGA; GUERRA; REIS, 2008).

Evidentemente, o empirismo lógico ocupa a posição central, nessa abordagem, no que se refere à compreensão sobre a fonte do conhecimento científico. Nessa direção, ao analisar a Transposição Didática das atividades experimentais para o ensino de Física, Alves Filho (2000) destaca que nem o movimento renovador do ensino de ciências que se desenvolveu a partir da década de 1960 abandonou essa visão. Pelo contrário, ao enfatizar o laboratório didático e a atividade experimental como grandes elementos da prática de ensino, acabou reforçando ainda mais, de forma subjacente, a concepção empirista. É essa concepção que, de fato, justifica a prática laboratorial, e também é ela que perpassa os livros e manuais didáticos de Física.

Na educação química, certamente sua influência não é menor. A química, como ciência, está amarrada historicamente nas práticas experimentais, cujos fundamentos foram construídos e desenvolvidos a partir da observação e do registro dos materiais que se transformavam em outros após uma reação química, ou mudavam seu estado fundamental após uma transformação física (GREENBERG, 2010). No ensino de química, são inúmeros os trabalhos que discutem a prática laboratorial ou a experimentação em sala de aula. Um trabalho de relevância histórica é o do professor Hale (1932) que traz para o ensino de ciências o relato da implementação da química como ciência no contexto escolar. O autor relata sobre a forma como o conteúdo escolar de química era apresentado em sala de aula. O conteúdo era ministrado como atividades experimentais e as teorias sob uma perspectiva utilitarista, ou seja, o aluno conhece o objeto do saber ao conhecer sua utilidade. E, após aproximadamente 13,7% dos concluintes do doutorado serem químicos em 1914, a química estava ganhando relevância.

No contexto do ensino de Química há trabalhos que fazem essa discussão do empirismo em sala de aula para a construção de uma concepção positivista. O trabalho de Cooper e Stowe (2018), por exemplo, faz uma revisão histórica sucinta do empirismo no ensino de química desde 1880 a 1964, e aponta que o mesmo incorporou uma visão positivista em relação ao desenvolvimento do conhecimento. As práticas educacionais de natureza química promoviam a experimentação sob uma ótica de conhecimento auto evidente, ou seja, feito o experimento, o conhecimento é evidenciado pela prática. Essa razão tem uma fundamentação em vista de que se entendia a química como uma ciência descritiva sobre a natureza da matéria, portanto focada nos processos e na sua aplicação industrial e agrícola (COOPER; STOWE, 2018).

Contudo, principalmente a partir da década de 1980, as ideias construtivistas, socioconstrutivistas e a aprendizagem significativa foram incorporadas e prevaleceram nas pesquisas do ensino. O conhecimento sob uma perspectiva cognitivista é construído na mente do sujeito e não é uma cópia de sua contraparte empírica (COOPER; STOWE, 2018).

Uma ponderação de Hodson (1996) a respeito do construtivismo nas atividades laboratoriais destaca que o mesmo se direcionou a um entendimento de que a instrução experimental precede o conhecimento em sala de aula. A síntese construtivista nos diz que o conhecimento é uma construção na mente do educando, essa ocorre porque o indivíduo constrói o sentido, e não apenas reflete um conhecimento, como se ele fosse uma

folha de papel em branco (BODNER, 1986). O construtivismo rompe, assim, com a visão tradicional de um conhecimento que é perfeitamente correlacionável com o empírico, e com a compreensão do conhecimento ser verdadeiro, quando o mesmo corresponder à realidade observável. O desenvolvimento da epistemologia construtivista desdobrou-se em várias vertentes, e uma delas é uma visão radical que defende o conhecimento plenamente construído pelo sujeito. Nesse entendimento, o professor deveria apenas construir conhecimento a partir da experiência do aluno, afinal o mesmo só pode existir a partir do momento que se constrói sentido em uma questão inerente à realidade subjetiva do aluno (BODNER, 1986).

Assim, a afiliação com o falido ideal positivista conduziu a perspectiva empirista a 'cair em desgraça' no âmbito das discussões no ensino, especialmente após o advento do construtivismo educacional. Kincheloe e Tobin (2009), em sua exortação contra os males do positivismo insidioso que insiste em se infiltrar nas práticas de pesquisa, afirmam que o empirismo é a "espinha dorsal" dessa doutrina, e chegam a caracterizar o positivismo lógico como uma forma particular de empirismo. Para definir o que entendem por positivismo – ou *criptopositivismo*, denominação preferida, por destacar que o uso dessa doutrina passa geralmente sem ser examinado –, os autores fundamentam-se em uma caracterização baseada em seis premissas que comporiam a pesquisa de cunho positivista:

- Formal: requer uma adesão estrita a uma metodologia particular imutável;
- Intratável: pressupõe que o mundo é uma entidade inerte, fixa e estática;
- Descontextualizado: o conhecimento é separado do contexto em que foi produzido, esvaziando seu sentido e o tornando enganoso;
- Universalista: o conhecimento, desde que produzido rigidamente de acordo com o método, é aplicado a todos os domínios do mundo a que se refere;
- Reducionista: focaliza as dinâmicas mais suscetíveis de mensuração, deixando os demais fatores de fora – mais uma vez, produzindo um conhecimento enganador;
- Unidimensional: baseado na crença que "[...] há uma única realidade verdadeira que pode ser descoberta e completamente descrita seguindo os métodos de pesquisa corretos" (KINCHELOE; TOBIN, 2009, p. 519, tradução nossa).

Ecoando um sentimento generalizado na área de que os males da educação científica são produto da hegemonia da doutrina positivista, Tobin (1998) chega a alegar que as *raízes do positivismo* permearam tanto o ensino de ciências quanto a própria ciência, desde a época de Leonardo Da Vinci. Nessa tônica (embora talvez sem retroceder tão remotamente), numerosos autores traçam um panorama no qual o positivismo é responsável por uma variedade de graves malefícios à educação científica, tanto em sua prática quanto no campo da pesquisa (BENTLEY, 1998; BURBULES; LINN, 1991; GALLAGHER, 1993; VAN AALSVORT, 2004). Kincheloe e Tobin (2009) vão além e atacam o positivismo como uma epistemologia "desumanizadora e opressiva" e que "opera insidiosamente para sustentar o status quo". Os autores atribuem os seis dogmas listados acima não apenas ao positivismo lógico, mas igualmente a "outros ramos do empirismo", que formariam o conjunto chamado de *criptopositivismo*, o qual, por sua vez, é considerado uma "[...] força insidiosa e nociva que nega sua própria existência enquanto difama aqueles que a apontam" (KINCHELOE; TOBIN, 2009, p. 526, tradução nossa).

Em conformidade com o que foi relatado até aqui, parece estar claro que o positivismo é realmente considerado, via de regra, algo bastante 'terrível'. Quase tão clara quanto é a tese subjacente de que o empirismo é indissociável do positivismo (ou que o segundo

é um tipo do primeiro, como querem Kincheloe e Tobin). Portanto, poderíamos concluir que todos os efeitos perniciosos exaustivamente identificados como tendo origem no ideal positivista deverão, também, ser atribuídos à epistemologia empirista. Mas afinal, o que é o positivismo? E será que a epistemologia empirista pode ser reduzida à versão adotada pelo movimento dos positivistas-lógicos?

Em primeiro lugar, é preciso destacar que existe uma miríade de diferentes posicionamentos que tem sido identificada como *positivismo* nos textos da área de ensino de ciências. Talvez a equiparação com o empirismo, como denotada acima, seja a mais frequente. Mas além disso, para alguns, o positivismo é entendido como universalismo, no sentido de busca por uma verdade absoluta (STANLEY; BRICKHOUSE, 1994; TABER, 2009). Para outros, o termo é vinculado ao instrumentalismo (ALTERS, 1997; SCERRI, 2010). Outra fusão que surge, com certa frequência, se dá com o cientificismo (BURNETT, 2012) e até mesmo com o realismo (REIS, 2009).

Talvez parte do motivo para essa heterogeneidade possa se relacionar com o fato de que os próprios filósofos, que mais tarde passaram a ser reconhecidos como positivistas-lógicos, tivessem discordâncias importantes entre si, além de mudarem seus posicionamentos ao longo do tempo. É impossível resgatar de forma exaustiva essa complexa dinâmica, em poucas palavras. Na seção a seguir sublinharemos os aspectos mais relevantes para a problemática levantada na *introdução* e faremos uma caracterização geral dessa doutrina, que será delineada especificamente para ressaltar a controvérsia entre realismo e antirrealismo, no bojo da qual se desenvolve o embate entre duas visões opostas sobre o objetivo da Ciência: procura da verdade versus salvar os fenômenos.

### **Entre o realismo e o antirrealismo: o que busca a ciência?**

A indagação acerca de qual é o objetivo da Ciência perpassa toda a reflexão de segunda ordem acerca do conhecimento por ela produzido, pelo menos desde Aristóteles, mas ganha novos contornos a partir da consolidação da Filosofia da Ciência como disciplina institucionalizada, o que ocorre apenas em meados do século XX. Esse período coincide com a fase de germinação de um grande projeto de reconstrução das bases do conhecimento científico, liderado majoritariamente por cientistas com interesse filosófico, entre os quais se destacaram Ernst Mach, Bertrand Russell, Pierre Duhem, Moritz Schlick e Henri Poincaré, entre outros. Tal projeto eclodiu em 1920, juntamente com o advento do Círculo de Viena – grupo encabeçado pelo próprio Schlick e que contava, entre seus principais membros, com Rudolf Carnap, Otto Neurath e Phillip Frank –, que se tornou o epicentro de um movimento bastante vasto, conhecido como *positivismo lógico*.

Atingindo seu apogeu nos anos 1930, esse movimento tem seu caráter positivista denotado pelo propósito de extirpar qualquer vestígio de metafísica do corpo da Ciência, enquanto seu aspecto lógico traduz a exigência de que todo o conhecimento deva ser passível de ser codificado em linguagem da lógica formal, de forma a assegurar a validade das inferências. Um dos pilares fundamentais do positivismo lógico é a ideia de que todos os conhecimentos científicos devem ser justificados, em última análise, por uma base experimental. A impossibilidade de reduzir algum conhecimento a um enunciado simples e diretamente observável implicaria, nessa ótica, em sua rejeição como uma espécie de 'impureza' metafísica.



Contudo, esse requisito mostrou-se difícil de ser atendido, dada a natureza altamente abstrata de muitas leis e princípios da Ciência. Carnap (1967), membro mais influente do Círculo, propôs uma separação, na análise dos enunciados científicos, entre *termos teóricos* e *termos observacionais*, de forma que os enunciados teóricos da ciência poderiam ser justificados com base em enunciados simples do tipo observacionais. Assim, o sentido de dizer que existe uma corrente elétrica passando por um circuito (enunciado teórico) repousa na possibilidade de traduzir esse enunciado para algo como *se ligamos esse fio, veremos essa lâmpada acender-se*, por exemplo.

Moulines (2020) caracteriza o positivismo lógico como uma concepção que se assenta sobre três pilares fundamentais: o *reducionismo*, no sentido de que todos os conceitos deveriam ser suscetíveis de serem definidos de forma estritamente observacional, como no exemplo do parágrafo acima; o *empirismo lógico*, que consiste, basicamente, na negação do sintético a priori, de Kant; e o *verificacionismo*, que requer que os enunciados sintéticos possam ser verificáveis observacionalmente. Esse último requisito tropeça no velho problema da indução, que já havia sido formulado por Hume, além de outros problemas internos. A partir de 1940, Carnap (apud MOULINES, 2020, p. 84-87) tenta contornar as dificuldades do verificacionismo desenvolvendo uma *lógica indutivista*, abrindo, com isso, um programa que chegou a receber contribuições de diversos outros filósofos, mas que, ainda assim, não logrou êxito, tendo mais tarde sido abandonado. Outra resposta ao problema da indução foi proposta por Hans Reichenbach e por ele denominada de "empirismo probabilista" (MOULINES, 2020). Para Reichenbach (1938), trata-se de reconhecer que os enunciados nas ciências empíricas – ao contrário do que ocorre na matemática e na lógica – são de natureza probabilística, e que as relações entre os objetos da realidade são reguladas por probabilidades, e não por algum tipo de redução lógica.

Também devido a problemas internos, a abordagem reducionista não se sustentou, e até mesmo Carnap (apud MOULINES, 2020, p. 92), eventualmente, ficou convencido de que muitos conceitos teóricos fundamentais da ciência não são suscetíveis de redução a enunciados puramente observacionais. Trata-se de conceitos altamente abstratos e, ao mesmo tempo, imprescindíveis para a construção de teorias científicas, que não poderiam ser simplesmente rejeitados: basta pensar em conceitos como elétron, campo, entropia, potencial, orbital, vida, entre muitos outros. Essa constatação, em conjunto com a dificuldade interna ao tentar caracterizar apropriadamente o que significa ser observável, conduziu a uma crise do reducionismo conceitual, que teve um importante papel na derrocada do positivismo lógico. Para compreender a importância do reducionismo para a sustentação do projeto positivista-lógico, basta notar que, nesse projeto, fazer filosofia da ciência significava, em larga medida, empreender uma análise crítica da linguagem da ciência, já que é nesta que reside a metafísica 'oculta' a ser depurada.

Dado que os positivistas entendem, por exemplo, a proposição de que existe uma corrente elétrica por meio de uma tradução do termo *corrente elétrica* em enunciados observacionais, eles rejeitam como metafísica a interpretação de que a corrente elétrica exista independentemente da experiência sensorial. Por essa recusa em se comprometer com qualquer noção de realidade que transcenda o que é empiricamente acessível, são considerados antirrealistas. Assim, com a falência do projeto positivista, emerge na filosofia da ciência uma "virada para o realismo" (PSILLOS, 2017). Em particular, o *realismo científico* surgiu como uma resposta ao positivismo, a partir de então.

Embora existam muitas correntes realistas com significativas diferenças, de forma sintetizada poderíamos dizer que o primeiro princípio da doutrina realista científica é a asserção de que objetivo da ciência é descobrir a verdade sobre o mundo:

[...] o realismo científico enfatiza que a ciência busca conhecimento genuíno tanto dos aspectos observáveis quanto dos aspectos inobserváveis da realidade. Por exemplo, os cientistas procuram explicar fenômenos observáveis em termos de entidades inobserváveis cujo comportamento seria causalmente responsável pelos fenômenos observados (SANKEY, 2004, p. 61, tradução nossa).

Tendo alcançado seu apogeu na década de 1970, o realismo científico ocupa ainda hoje um papel significativo, ainda que não livre de controvérsias.

Nesse contexto, uma perspectiva rival rapidamente surge para mostrar que, mesmo após a 'morte' do positivismo, o realismo não é a única alternativa. Já em 1980, Bas van Fraassen (VAN FRAASSEN, 1980) apresenta o empirismo construtivo, concepção que rejeita tanto o comprometimento ontológico do realismo quanto o projeto reducionista do positivismo lógico. É interessante notar como nessa concepção – assim como nas duas anteriores – a distinção entre observável e inobservável ocupa um papel essencial no entendimento do que é o objetivo da Ciência.

Como o positivismo já havia sido derrubado decisivamente (no contexto da filosofia da ciência, pelo menos), o epistemólogo holandês concentra seu ataque às bases do realismo científico, principal opositor naquele momento. Por limitações de espaço não iremos nos deter aqui em uma análise dessas críticas, mas vamos apenas pontuar que, para compreender a oposição de van Fraassen ao realismo científico, é necessário ter presente seu entendimento dessa concepção – afinal, há quem considere apenas um leve exagero afirmar que o realismo científico é caracterizado diferentemente por cada um dos autores que sobre ele discutem (CHAKRAVARTTY, 2017). Segundo van Fraassen (2007, p. 27), a definição 'correta' do realismo científico é a tese de que "[...] a ciência visa dar-nos em suas teorias um relato literalmente verdadeiro de como o mundo é, e a aceitação de uma teoria científica envolve a crença de que ela é verdadeira".

Van Fraassen (2007) concorda com os realistas em relação à necessidade de tomar o discurso científico de forma literal, e não traduzida – como queriam os positivistas e correntes afins, como o convencionalismo e o instrumentalismo –, todavia, rejeita que a crença na verdade da teoria seja necessária para sua aceitação. É dessa forma que a perspectiva do autor se distancia, tanto do positivismo lógico, quanto do realismo científico. Mas, até o momento, apenas dissemos contra quem van Fraassen se manifesta. Na seção seguinte, caracterizamos as ideias que o autor propôs para substituir as visões adversárias.

### **Aceitar sem crer: adequação empírica**

Por sua obra *The scientific image*, publicada originalmente em 1980, Bas van Fraassen foi laureado, em 1986, com o prêmio Lakatos, em reconhecimento ao valor de sua contribuição à Filosofia da Ciência. Nela, o autor apresenta o *empirismo construtivo*, posicionamento antirrealista que procurou oferecer uma *terceira via* perante a falência do positivismo e as dificuldades do realismo. Esse posicionamento é *empirista* para enfatizar o interesse no que é observável (embora não procure eliminar o inobservável); e é *construtivo*

para enfatizar a tese de que a atividade científica consiste em uma construção, e não em uma descoberta: "[...] construção de modelos que devem ser adequados aos fenômenos, e não descoberta da verdade sobre o que é inobservável" (VAN FRAASSEN, 2007, p. 21).

Um ponto central na defesa feita por van Fraassen encontra-se em sua distinção entre *aceitar* e *crer*. Ele toma como pressuposição que o desejo humano pela informação é tão importante quanto o desejo pela verdade (VAN FRAASSEN, 1987). *Aceitar* uma teoria significa considerá-la capaz de oferecer uma explicação correta para o fenômeno observacional. *Crer* na teoria, por outro lado, requer acreditar na verdade da teoria, e vincula-se a um compromisso próprio do realista, contra o qual van Fraassen se posiciona.

Como fundamento da sua visão sobre o que é a ciência, o autor postula que a única crença necessária para aceitar uma teoria é que ela seja empiricamente adequada, ou seja, se é verdadeiro aquilo que essa teoria diz sobre os fenômenos observáveis, ficando suspenso o juízo quanto aos inobserváveis. A adequação empírica funciona, assim, tanto como critério de aceitação das teorias, quanto como objetivo da prática científica:

A ciência visa dar-nos teorias que sejam empiricamente adequadas; e a aceitação da teoria envolve, como crença, apenas aquela de que ela é empiricamente adequada [...] Um pouco mais precisamente: tal teoria possui pelo menos um modelo tal que todos os fenômenos se ajustam. (VAN FRAASSEN, 2007, p. 34-35).

Em outras palavras, para van Fraassen (2007), a ciência, enquanto empreendimento, está mais preocupada em construir teorias capazes de explicar um fenômeno observável de modo satisfatório do que encontrar a verdade sobre ele. Portanto, o sucesso da atividade científica não seria revelar ou construir uma verdade a respeito das nossas observações empíricas. Todavia, o cientista individual não está isento de crença, inclusive não está isento de assumir um valor de verdade para si, mas a defesa de van Fraassen (2007) é de que o sucesso da ciência enquanto atividade não é a produção de teorias que descrevem uma realidade externa verdadeira e confirmada pela observação. O objetivo da ciência, para ele, é produzir teorias que representem uma evidência empírica e cujos termos satisfazem problemas relacionados à observação.

A posição do autor implica em que os enunciados científicos devem ser tomados na sua forma literal. Quando um cientista diz "*existe uma corrente elétrica passando pelo circuito*", o que se deve entender é que existe uma corrente elétrica passando pelo circuito; não há que se reduzir ou 'traduzir' esse enunciado para termos puramente observacionais. Ao contrário do que queriam os positivistas, o uso da entidade inobservável *corrente elétrica* é perfeitamente legítimo como parte da linguagem científica e não requer uma interpretação sensorial. Por outro lado, em oposição ao que pensavam os realistas, o critério para aceitação de uma teoria não envolve a crença de que a corrente elétrica seja algo real. O empirista construtivo é um agnóstico quanto à existência das entidades inobserváveis: para ele, a presença de tais entidades em uma teoria é suficientemente justificada pela adequação empírica dessa teoria.

Sendo assim, o experimento não comprova a teoria, mas a subsidia com conteúdo empiricamente observável, tornando possível testar sua adequação empírica. Em contrapartida, a teoria provoca a formulação de um problema a ser explicado e demanda uma explicação que seja sistemática e concisa. A relação entre a teoria e a experimentação não é hierárquica, mas simbiótica, de modo que uma depende e influencia a outra (PESCHARD; VAN FRAASSEN, 2014; VAN FRAASSEN, 2007).



## A pragmática da explicação

Como parte da sua defesa da adequação empírica em detrimento do realismo, van Fraassen (2007) avalia o papel da função explicativa das teorias. Um realista poderia argumentar, contra o antirrealismo, que o sucesso explicativo de uma teoria é uma evidência em favor de sua verdade. Esse sucesso pode ser entendido pelo argumento da *inferência para a melhor explicação*, que pode ser sintetizado da seguinte maneira: "[...] suponhamos que temos a evidência  $E$ , e que estejamos considerando diversas hipóteses, digamos  $H$  e  $H'$ . A regra diz então que devemos inferir  $H$  em vez de  $H'$  exatamente se  $H$  é uma melhor explicação de  $E$  que  $H'$ ." (VAN FRAASSEN, 2007, p. 46, grifo do autor).

Analisemos a situação usada por van Fraassen (2007): você ouve uns ruídos nas paredes, um sapateado de pequenos pés à meia-noite, e o queijo desapareceu. Dada a situação, você infere que havia um camundongo em sua casa. Essa inferência é uma hipótese dada aos fenômenos observados. Entretanto, poderíamos concluir que de fato havia um camundongo sem observá-lo empiricamente? Van Fraassen (2007) nos leva a refletir que tal hipótese explica que as evidências indicam a existência de um camundongo na casa, e não que há um camundongo na casa. É uma situação análoga à sua adequação empírica. A hipótese do camundongo surge para dar uma explicação aceitável ao fenômeno no qual há um comportamento de algo não observado. Porém, a hipótese não responde sobre a existência do mesmo no fenômeno. Há muitas maneiras possíveis de explicar as evidências empíricas. Isso posto, escolhemos aquilo que julgamos responder melhor o observado. Com base nas informações dadas, a conclusão sobre a existência de um camundongo causando o fenômeno parece dar algum sentido aquilo que observamos, mas não é um bom argumento para sustentar a crença em entidades inobserváveis. Analogamente, o sucesso explicativo de uma teoria não pode ser tomado como uma evidência da verdade, já que "[...] o sucesso em explicar é um sucesso em descrever de maneira adequada e informativa" (VAN FRAASSEN, 2007, p. 275), ou seja, o sucesso explicativo atesta apenas a adequação empírica da teoria, não funcionando como uma garantia de verdade.

Nessa ótica, outro aspecto fundamental da explicação é que ela não é simplesmente uma relação entre teoria e fato, como tradicionalmente se concebe, mas uma relação entre teoria, fato e contexto, ou seja, consiste em algo essencialmente relativo:

Uma explicação não é o mesmo que uma proposição, ou um argumento, ou uma lista de proposições; ela é uma *resposta*. (De maneira análoga, um filho não é o mesmo que um homem, mesmo sendo todos os filhos homens, e sendo cada homem um filho). Uma explicação é uma resposta para uma questão-por-quê (VAN FRAASSEN, 2007, p. 237, grifo do autor).

Van Fraassen (2007) relaciona a teoria da explicação a uma teoria das *questões-por-quê*. Isso se deve ao fato de que, para o autor, uma sentença explicativa não pode ser identificada com uma conclusão lógica verdadeira. Um dos seus trabalhos interessantes é sobre a análise a uma *questão-por-quê*, que é tratada como uma sentença que necessita de uma explicação: como vimos anteriormente, o autor atribui a necessidade humana por uma resposta explicativa em um mesmo nível de igualdade à necessidade de uma verdade a respeito do observável (VAN FRAASSEN, 2007). O olhar deste autor torna-se incomum pelo embasamento teórico que ele dá à análise da questão, como algo que

poderia ser respondido de qualquer maneira, contudo, apenas uma resposta satisfaz o contexto da pergunta. Sendo assim, conclui que toda questão demanda uma resposta, e escolhemos a melhor resposta: satisfazer uma *questão-por-que* não é o mesmo que dar a ela uma resposta verdadeira (VAN FRAASSEN, 2007).

Uma teoria das questões deve estar fundamentada em uma teoria das proposições, que vou supor dada. Uma *questão* é uma entidade abstrata; ela é expressa por uma *interrogação* (uma peça de linguagem) no mesmo sentido que uma proposição é expressa por uma sentença declarativa. Quase tudo pode ser uma resposta apropriada para uma questão, em uma situação ou outra... A primeira tarefa de uma teoria das questões é oferecer alguma tipologia das respostas (VAN FRAASSEN, 2007, p. 243-244, grifo do autor).

Com essa afirmação, Van Fraassen (2007) propõe que uma *questão-por-que* direciona a construção da explicação. Ao declararmos uma sentença interrogativa, pressupomos um certo tipo de resposta para ela. Ocorre, então, uma seleção para o universo de possíveis respostas. "Por que o átomo de hidrogênio emite fótons nas frequências da série geral de Balmer? A pergunta pressupõe que o átomo de hidrogênio emite fótons nessas frequências" (VAN FRAASSEN, 2007, p. 266). Esta afirmação significa que, ao criarmos um problema, incutimos nele um olhar que parte de premissas. Essas premissas pressupõem uma resposta, ou, mais apropriadamente, um certo *tipo* de resposta. A melhor resposta é aquela que satisfaz mais adequadamente a premissa. Assim, o empirismo que o autor está discutindo é um olhar para o fenômeno, aceitando as premissas como empiricamente adequadas, ou seja, quando tentamos responder a causa do átomo de hidrogênio emitir especificamente as frequências da série de Balmer, admitimos que os experimentos realizados com o átomo de hidrogênio são confiáveis. Logo, podemos responder uma nova pergunta sobre o observável, em razão do contexto de produção do fenômeno, que aceitamos como verdadeiro. Isso quer dizer que, não necessariamente, temos o compromisso em crer que o átomo de hidrogênio emite fótons em uma determinada frequência. É apenas preciso compreender o contexto de produção e assumi-lo como um ponto de partida e aceitar, empiricamente, que os elementos previstos na teoria estão corretos (VAN FRAASSEN, 2007). É precisamente essa dependência com o contexto que determina o caráter *pragmático* das explicações científicas. Nas palavras do autor, "[...] a explicação científica não é ciência (pura), mas uma aplicação da ciência. Ela é o uso da ciência para satisfazer alguns de nossos desejos; e esses desejos são bem específicos em um contexto específico, mas eles são sempre desejos de informação descritiva." (VAN FRAASSEN, 2007, p. 274).

Como visto, a pragmática da explicação tem relevância pela sua defesa do poder explicativo de uma teoria como um instrumento de resposta aceitável a um problema. Para Van Fraassen (2007), uma explicação dada por um modelo nada diz sobre uma perfeita correlação entre o observável e a teoria, pois não é um tipo de demonstração verdadeira sobre o fenômeno, mas tem potencial de dar sentido à relação entre o fenômeno e seu modelo. Essa atribuição de sentido produzida pela explicação é sua principal virtude, pelo que o autor considera que a explicação tenha natureza pragmática. É interessante notar que o pragmatismo defendido por Van Fraassen (2007) é, também, uma retificação que o autor faz a seu próprio ceticismo em relação aos aspectos não observáveis dos modelos. Ele confessa que, durante metade de sua vida, rejeitou com veemência a existência de qualquer aspecto não empírico de uma teoria e afirma que aceitava as regularidades capazes de justificar uma teoria, contudo, considerava que os elementos

que não observamos com nossos sentidos não tinham respaldo empírico para serem creditados como entidades verdadeiras.

Em meados dos seus 40 anos, ao estudar Tomás de Aquino, o autor passa por um processo de mudança do seu pensamento, tornando-se menos radical em relação ao potencial explicativo de uma entidade não observável. A pragmática da explicação é, assim, uma correção à ingenuidade do empirismo em crer apenas naquilo que é possível observar empiricamente. O surgimento de entes que não são observáveis capacitam os modelos a serem mais abrangentes do que o fenômeno em si, portanto se tornam importantes para a ciência (VAN FRAASSEN, 2007).

Os modelos científicos são criados, nessa ótica, incorporando ambos os aspectos: o observável e o não-observável. Conforme a ciência cria tais modelos, ela os ajusta de tal maneira que sejam capazes de dar sentido para a observação. Com esse modo de pensar, Van Fraassen (2007, 2008) corrige outra ingenuidade do empirismo: rejeitar todo e qualquer aspecto não observável do conhecimento científico. Uma vez que tais aspectos são incorporados dentro do modelo e contribuem para uma boa explicação, capaz de preencher de sentido a ação, é aceitável considerar sua legitimidade para a ciência. Quando eu realizo uma observação, inerentemente haverá um problema de interesse. A existência do inobservável é capaz de preencher de sentido tal observação, portanto a atividade científica não está limitada a demonstrar e/ou descrever apenas o que é observável.

Ainda assim, quando a teoria e o observável estão de acordo, isto é insuficiente para construir uma convicção da existência de seus termos inobserváveis (VAN FRAASSEN, 2007). A posição de van Fraassen (2007) para os experimentos realizados em laboratório que evidenciam os fenômenos é que tais são arquitetados para dialogarem com a teoria já pré-concebida. Antes da elaboração do experimento e da confirmação da teoria e da existência dos seus termos inobserváveis, há um contexto de pergunta que demanda uma explicação. Antes de pensar se o camundongo existe ou não, e testar hipóteses até descobrir a resposta definitiva sobre o fenômeno, há um contexto de interesse: por que eu desejaria saber se existe um camundongo na minha residência? o que me leva a buscar essa informação? Com base nisso, o autor defende que a explicação científica responderá e satisfará esse contexto em que surge o interesse por uma resposta científica.

Nesse sentido, quando ocorre na Ciência uma 'descoberta' – de Urano, do nêutron, do elétron, etc. –, isso significa que conseguimos uma informação nova sobre como são as entidades inobserváveis. Mas, para van Fraassen, nem mesmo isso significa que tais entidades existam, como poderiam argumentar os realistas. O autor defende que o que o experimento faz, de fato, é "preencher espaços vazios" deixados pela teoria. Em outras palavras, o experimento informa *como esses espaços vazios devem ser preenchidos para que a teoria seja empiricamente adequada*. Van Fraassen (2007) ilustra esse fato com o exemplo dos experimentos de Millikan da medição da carga elementar do elétron. Para o autor, o que tornou esses experimentos tão importantes não foi simplesmente que concordassem com a hipótese da existência de uma carga elementar – o que não era surpreendente para a época – mas que tenham sido capazes de determinar, sem ambiguidades, qual era este valor (questão em aberto deixada pela teoria). Em um caso como esse, argumenta Van Fraassen (2007, p. 143), "[...] a experimentação é a continuação da construção da teoria por outros meios". Essa interpretação ilustra precisamente o sentido da expressão *empirismo construtivo* para a epistemologia de Van Fraassen.

## Contribuições para o ensino

Collins (2015) propõe uma reflexão sobre as consequências de visões simplistas sobre a ciência que podem ser veiculadas em sala de aula. Nessa reflexão, o autor pondera sobre os efeitos negativos da crença em uma ciência perfeita: cidadãos que possuem essa crença, quando confrontados com situações em que os cientistas são algo menos do que perfeitos, poderão reagir concluindo que os cientistas são mentirosos e fraudulentos, e que, portanto, o conhecimento científico não é confiável. Por esse motivo, é importante que a prática em sala de aula favoreça a reflexão sobre as limitações das teorias científicas e, também, sobre a sua confiabilidade. Em uma direção semelhante, a tese de Van Fraassen (2007) discute em torno de um ponto em relação ao que a ciência trata. Um dos objetivos centrais da ciência é produzir teorias científicas que incorporam a realidade observacional empírica em modelos isomórficos. Com base nos modelos construídos, Van Fraassen (1987, 2007) conclui que a ciência fornece explicações para os fenômenos observáveis.

Collins (2015) provoca os professores de ciências a refletirem em uma situação experimental hipotética – que, porém, acontece – em que o professor coloca os alunos para registrarem os dados da temperatura medidos quando a água entra no ponto de ebulição. O autor trata a prática científica sob um viés sociológico no qual defende que, nessa situação, não cabe mais, no momento atual, aos professores de ciências ensinarem os alunos a medirem dados, confirmarem com o material bibliográfico e assim conhecerem a ‘verdade’ sobre o experimento observado. A prática científica que o ensino de ciências deveria estimular em sala de aula envolve reconhecer o porquê de o método da medição resultar naqueles dados e qual o problema que motivou a investigação.

O empirismo em sala de aula, com base na epistemologia de Van Fraassen (1994, 2007), teria por objetivo o estímulo a uma posição filosófica diante da observação empírica. Segundo o autor, o empirismo não é teorizar a experiência, mas é uma atitude diante da realidade observacional. Uma vez que van Fraassen (1994) questiona o próprio empirismo positivista como uma prática científica ingênua, ele nos subsidia com uma posição que pode ser dada em sala de aula na elaboração da atividade experimental, que é justamente tratar os dados empíricos como subsídios para a construção dos modelos (VAN FRAASSEN, 2008). Em ressonância com a defesa de Collins (2015), sua contribuição provoca os professores de ciências a pensarem em uma prática científica em sala de aula que fale mais sobre o fazer científico do que sobre o próprio dado, já que o empirismo construtivo dá suporte epistemológico para construir um conhecimento que transforme o dado em uma estrutura a ser incorporada pela teoria, e não um valor verdadeiro que a confirma (COLLINS, 2015; VAN FRAASSEN, 2007). Com essa compreensão em mente, somos capazes de tratar dos aspectos não empíricos da ciência de tal maneira que podemos não nos comprometer em provar para o aluno que a teoria é verdadeira, mas que estamos comprometidos em mostrar que a leitura dada pela ciência sobre o observável tem sentido.

Ao trazermos as provocações de Collins (2015) para o ensino de ciências, podemos questionar: como ensinar mais do fazer científico por meio de uma abordagem empírica, sem cair em armadilhas de uma ciência positivista? Van Fraassen (2007) nos propõe uma resposta com sua adequação empírica. Quando pensamos que o experimento científico não é uma forma de atribuir verdade ou falsidade, mas uma ação produzida para satisfazer a um problema, podemos enxergar que essa ação não é isenta de uma percepção de

mundo. A contribuição do empirismo construtivo está no fato que a adequação empírica evidencia que podemos criar diversos problemas e diversas teorias capazes de satisfazerem esse problema, dando sentido ao fato de existirem diferentes modelos científicos válidos para o mesmo objeto.

### **O pragmatismo do conhecimento científico: experimento, verdade e sentido**

Autores como Andersson (1986), Gilbert, Boulter e Rutherford (2000), McNeil e Krajcik (2008), Talanquer (2007) trazem reflexões para o ensino de ciências que ponderam a relevância de uma prática científica centrada na investigação e na explicação sobre o fenômeno investigado. As atividades experimentais, ao serem pensadas numa perspectiva investigativa conduzida pelo professor de ciências, perdem o viés espetacular (fazer o experimento apenas para chamar atenção do aluno) e ganham um viés mais complexo: investigar um problema e justificá-lo. A justificativa não é apenas dar uma resposta qualquer, é uma explicação científica pautada em um modelo (ANDERSSON, 1986; MCNEIL; KRAJCIK, 2008). Nessa direção, fica claro que a explicação científica na prática de ensino reveste-se também de uma natureza pragmática, já que o seu sentido é construído vinculando-se a um contexto específico e bem delineado, que é justamente o contexto do problema abordado na situação investigativa. A partir de uma ótica empirista construtiva, é essa vinculação com o contexto que permite preencher de sentido as teorias científicas ensinadas, enfrentando assim o *esvaziamento de sentido* dentro de sala de aula, que se instaurou como consequência de uma visão positivista que viciou o ensino de ciências, por meio de um empirismo ingênuo, com demonstrações apenas ilustrativas (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004; GIORDAN, 1999; HODSON, 1996; LÔBO, 2012). Se o papel da experimentação científica envolve *preencher as lacunas* deixadas pela teoria, como propôs van Fraassen, a atividade experimental no contexto do ensino pode ser pensada como uma abordagem que visa construir explicações empiricamente adequadas para uma situação que deu origem a um problema. Isso não se confunde, todavia, com afirmar a *verdade* dessa explicação (no sentido de correspondência literal com o mundo):

Finalmente, uma vez que a habilidade de uma teoria em explicar oferece uma razão clara para aceitá-la, argumentou-se que o poder explicativo é evidência em favor da *verdade* da teoria, evidência especial que vai além de qualquer evidência que possamos ter em favor da adequação empírica da teoria (VAN FRAASSEN, 2007, p. 271, grifo do autor).

Convergindo com os autores que trabalhamos nesta seção, van Fraassen (2007) argumenta que nós, seres humanos, temos o anseio por uma explicação capaz de dar uma resposta a um problema que criamos em nossa interação com o mundo observável. Em sala de aula, quando trabalhamos com modelos produzidos pela ciência, deveríamos evidenciar essa relação entre o problema e o poder explicativo do modelo para resolver o mesmo.

Enfrentamos um desafio dentro da sociedade, como aponta Shapin (2013), que consiste em certa utilização da ciência como se ela fosse a verdade universal e absoluta sobre o mundo. O pragmatismo de van Fraassen (2007) nega justamente essa ideia de que a ciência postula uma verdade, quando a mesma é capaz de explicar um fenômeno. A ciência responde a um problema, e pode respondê-lo de diversas maneiras, pois o que a ciência produz não é uma explicação única para o mundo, mas é uma explicação



capaz de satisfazer um anseio por resposta por meio de um modelo – permitindo, assim, construir um sentido para dada situação. Dado que o sucesso da ciência é a produção de um modelo capaz de explicar o fenômeno sob uma percepção de mundo, não poderíamos utilizá-la como se seu objetivo fosse postular verdades únicas sobre o mundo. Assim, o pragmatismo de van Fraassen (2007) responde ao problema levantado por Shapin (2013) e, claramente, o faz com base em um referencial empirista.

Adicionalmente, essa visão de ciência como produtora de explicações pragmáticas e cujo sentido deriva do contexto permite fundamentar, desde uma base epistemológica, uma reflexão cuidadosa acerca do currículo escolar. Do ponto de vista tradicional, que aceita uma ciência como produtora de verdades, a ordem cronológica de apresentação de teorias distintas e rivais parece quase naturalmente seguir uma lógica que vai do simples – que é falso – para um complexo – porém, verdadeiro – relato de como é o mundo (ou a porção dele a que a teoria se refere). Assim, a teoria einsteiniana vem substituir como 'verdadeira' a teoria de Newton, que estava 'errada'; a mecânica aristotélica, na maioria das vezes, sequer encontra qualquer espaço no ensino, exceto quando é usada para evidenciar o seu 'erro'. Assim, vai-se fortalecendo uma versão realista ingênua segundo a qual a ciência busca estabelecer a verdade final sobre como o mundo realmente é. Um dos problemas que há com essa versão é o seu risco permanente de destruir a si mesma, já que a prática científica está inexoravelmente sujeita a erros que, uma vez descobertos, acabam por minar a própria autoridade da ciência que o realismo ingênuo pretendia impor.

À luz das considerações avançadas por Bas van Fraassen em seu empirismo construtivo, essa racionalização se dissolve, na medida em que a busca pela adequação empírica substitui o critério da verdade. É interessante notar, nesse contexto, que as crianças e adolescentes que se encontram nas salas de aula de ciências na educação básica estão bem mais interessados em explicações simples e *pragmáticas* para os fenômenos que ocorrem à sua volta do que em aspectos mais abstratos e analíticos da competição entre teorias rivais (OSBORNE; BELL; GILBERT, 1983). Aliás, as próprias concepções alternativas certamente tem parte da sua resiliência devida à sua utilidade pragmática, seja explicativa ou comunicativa. Então, por que não enfatizar a virtude pragmática das teorias científicas?

### **Conclusões e considerações**

De acordo com o que foi visto até aqui, fica evidente que van Fraassen (2007), diferentemente do positivismo lógico que desejava erradicar a metafísica da ciência, reconhece o papel dos inobserváveis para explicar os fenômenos. O autor defende que os elementos não empíricos que surgem na construção de um modelo é o que o tornam algo mais amplo que o fato em si, desdobrando-se em uma explicação lógica para os problemas. Se a natureza da explicação buscada pela Ciência é pragmática, então o uso de construtos inobserváveis é legítimo, na medida em que preenchem de sentido os contextos teóricos e experimentais em que são invocados. Em conjunto com a sua rejeição à tese realista de que a Ciência tem por objetivo alcançar a verdade sobre como o mundo é, esse reconhecimento da virtude pragmática da explicação torna claro que o empirismo construtivo configura-se como uma posição incompatível com o positivismo, não apenas na intenção de seu autor, mas também no conteúdo de suas respostas às questões acerca do propósito e do sentido do conhecimento científico. A discussão evidenciou que o empirismo construtivo efetivamente *contradiz* a doutrina positivista, já que: (1) não busca deslegitimar a metafísica; (2) considera que os enunciados devem

ser interpretados literalmente; (3) nega a hierarquização entre as dimensões teórica e observacional. O empirismo construtivo ademais vai de encontro às premissas atribuídas por Kincheloe e Tobin (2009) ao criptopositivismo, uma vez que rejeita a 'descoberta' da realidade, o reducionismo e o universalismo, além de enfatizar insistentemente a importância do contexto, em especial na sua discussão das *questões-por-quê*.

O questionamento da ciência como fonte de verdades sobre o mundo certamente não é uma novidade no contexto da educação científica. O mesmo pode ser dito, e com muito mais propriedade, sobre a rejeição ao ideal positivista. Todavia, esses questionamentos tendem a vir, tipicamente, de mãos dadas com uma crítica ao empirismo, que por sua vez é tradicionalmente associado, no contexto da pesquisa na área de ensino de ciências, ao positivismo lógico. A discussão da epistemologia de Bas van Fraassen desenvolvida nas páginas precedentes permitiu apontar que essa associação, contudo, não é necessária. Mais que isso, permitiu evidenciar, *desde um ponto de vista empirista*, tanto a inadequação da visão positivista quanto a possibilidade de um sentido para o conhecimento científico que não seja restrito à verdade.

### Agradecimento

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

### Referências

ALTERS, B. J. Whose nature of science? *JRST: journal of research in science teaching*, Hoboken, v. 34, n. 1, p. 39-55, 1997. doi: <https://doi.org/dd9hmr>.

ALVES FILHO, J. P. *Atividades experimentais: do método à prática construtivista*. 2000. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://cutt.ly/HC0xm0U>. Acesso em: 17 ago. 2022.

ANDERSSON, B. Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, Hoboken, v. 70, n. 5, p. 549-63, 1986. doi: <https://doi.org/dbc97g>.

ARTHURY, L. H. M.; GARCIA, J. O. Em prol do realismo científico no ensino. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 26, p. 1-14, 2020. doi: <https://doi.org/ghhvg9>.

BENTLEY, M. L. Constructivism as a referent for reforming Science Education. In: LAROCHELLE, M.; BEDNARZ, N.; GARRISON, J. (ed.). *Constructivism and education*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1998. p. 233-249.

BODNER, G. M. Constructivism: a theory of knowledge. *Journal of Chemical Education*, Washington, v. 63, n. 10, p. 873, 1986. doi: <https://doi.org/10.1021/ed063p873>.

BRAGA, M. A. B.; GUERRA, A.; REIS, J. C. O papel dos livros didáticos franceses do século XIX na construção de uma concepção dogmática-instrumental do ensino de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 507-522, 2008.

BRANQUINHO, J.; GOMES, N.; MURCHO, D. *Enciclopédia de termos lógico-filosóficos*. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

BURBULES, N. C.; LINN, M. C. Science education and philosophy of science: congruence or contradiction? *International Journal of Science Education*, Abingdon, UK, v. 13, n. 3, p. 227-241, 1991. doi: <https://doi.org/ct8g99>.

CARNAP, R. *The logical structure of the world*. Berkeley: University of California Press, 1967.

BURNETT, T. What is scientism? *AAAS DoSER*, Washington, 2012. Disponível em: <https://cutt.ly/gXvpUbY>. Acesso em: 18 ago. 2022.

CHAKRAVARTTY, A. Scientific realism. In: THE STANFORD encyclopedia of philosophy. [S.l.]: Stanford University, 2017. Disponível em: <https://cutt.ly/0XvpmHk>. Acesso em: 18 ago. 2022.

COLLINS, H. Can we teach people what science is really like? *Science Education*, Hoboken, v. 99, n. 6, p. 1049-1054, 2015.

COOPER, M. M.; STOWE, R. L. Chemistry education research: from personal empiricism to evidence, theory, and informed practice. *Chemical Reviews*, Washington, v. 118, n. 12, p. 6053-6087, 2018. doi: <https://doi.org/gdtjxv>.

GALIAZZI, M. C.; GONÇALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. *Química Nova*, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 326-331, 2004.

GALLAGHER, J. J. Secondary science teachers and constructivist practice. In: TOBIN, K. (ed.). *The practice of constructivism in science education*. New Jersey: LEA Publishers, 1993. p. 181-192.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J.; RUTHERFORD, M. Explanations with models in science education. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (ed.). *Developing models in science education*. Dordrecht: Springer, 2000. p. 193-208.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.

GREENBERG, A. *Uma breve história da química: da alquimia às ciências moleculares modernas*. São Paulo: E. Blucher, 2010.

HALE, H. The history of chemical education in the United States from 1870 to 1914. *Journal of Chemical Education*, Washington, v. 9, n. 4, p. 729, 1932. doi: <https://doi.org/10.1021/ed009p729>.

HODSON, D. Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, Abingdon, UK, v. 28, n. 2, p. 115-135, 1996.

KINCHELOE, J.; TOBIN, K. The much exaggerated death of positivism. *Cultural Studies of Science Education*, Dordrecht, v. 4, p. 513-528, 2009. doi: <https://doi.org/b8tz3g>.

LÔBO, S. F. O trabalho experimental no ensino de química. *Química Nova*, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 430-434, 2012.

MATTHEWS, M. R. Idealism of cultural studies and realism of Mario Bunge. In: MATTHEWS, M. E. *History, philosophy and science teaching: a personal story*. Singapore: Springer, 2021. p. 235-259.

MATTHEWS, M. R. Reappraising positivism and education: the arguments of Philipp Frank and Herbert Feigl. *Science & Education*, Dordrecht, v. 13, n. 1, p. 7-39, 2004. doi: <https://doi.org/c87xmp>.

MCNEILL, K. L.; KRAJCIK, J. Inquiry and scientific explanations: helping students use evidence and reasoning. In: LUFT, J.; BELL, R. L.; GESS-NEWSOME, J. (ed.). *Science as inquiry in the secondary setting*. Arlington, US: NSTA Press, 2008. p. 121-134.

MOULINES, C. U. *O desenvolvimento moderno da filosofia da ciência (1890-2000)*. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia, 2020.

OSBORNE, R. J.; BELL, B. F.; GILBERT, J. K. Science teaching and children's views of the world. *European Journal of Science Education*, Abingdon, UK, v. 5, n. 1, p. 1-14, 1983.

PESCHARD, I. F.; VAN FRAASSEN, B. C. Making the abstract concrete: the role of norms and values in experimental modeling. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, Dordrecht, v. 46, p. 3-10, 2014.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 213-227, 1999.

PSILLOS, S. The realist turns in the philosophy of science. In: SAATSI, J. *The Routledge handbook of scientific realism*. Abingdon, UK: Routledge, 2017. p. 20-34.

REICHENBACH, H. *Experience and prediction*. Chicago: University of Chicago Press, 1938.

REIS, G. Gross's anatomy: textual politics in science/biology education research. *Cultural Studies of Science Education*, Dordrecht, v. 4, n. 4, p. 781-790, 2009.

SANKEY, H. Scientific realism: an elaboration and a defence. In: CARRIER, M. et al. (ed.). *Knowledge and the world: challenges beyond the science wars*. Berlin: Springer, 2004. p. 55-79.

SCERRI, E. R. Comments on a recent defence of constructivism in chemical education. *Chemistry Education in New Zealand*, Christchurch, p. 15-18, nov. 2010. Disponível em: <https://cutt.ly/0C0CnMp>. Acesso em: 14 sep. 2022.

SHAPIN, S. *Nunca pura*. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013.

STANLEY, W. B.; BRICKHOUSE, N. W. Multiculturalism, universalism, and science education. *Science Education*, Hoboken, v. 78, n. 4, p. 387-398, 1994.

TABER, K. *Progressing science education: constructing the scientific research programme into the contingent nature of learning science*. Dordrecht: Springer, 2009.

TALANQUER, V. Explanations and teleology in chemistry education. *International Journal of Science Education*, Abingdon, UK, v. 29, n. 7, p. 853-870, 2007.

TOBIN, K. Sociocultural perspectives on the teaching and learning of science. In: LAROCHELLE, M.; BEDNARZ, N.; GARRISON, J. (ed.). *Constructivism and education*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p. 195-212.

VAN AALSVOORT, J. Logical positivism as a tool to analyse the problem of chemistry's lack of relevance in secondary school chemical education. *International Journal of Science Education*, Abingdon, UK, v. 26, n. 9, p. 1151-1168, 2004.

VAN FRAASSEN, B. C. Against transcendental empiricism. In: KOCKELMANS, J.; STAPLETON, T. J. (ed.). *The question of hermeneutics: essays in honor of Joseph Kockelmans*. Dordrecht: Springer, 1994. p. 309-335.

VAN FRAASSEN, B. C. *A imagem científica*. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

VAN FRAASSEN, B. C. *The scientific image*. Oxford University Press, 1980.

VAN FRAASSEN, B. C. *Scientific representation: paradoxes of perspective*. Oxford, US: Oxford University Press, 2008.

VAN FRAASSEN, B. C. The semantic approach to scientific theories. In: NERSESSIAN, N. J. (ed.). *The process of science: contemporary philosophical approaches to understanding scientific practice*. Dordrecht: Springer, 1987. p. 105-124.