

Detectando outras vozes: um método para analisar explicações no ensino de ciências

Detecting other voices: A method to analyze explanations in science teaching

Alexsandro Pereira de Pereira

Departamento de Física do Instituto de Física da UFRGS
Alexsandro.pereira@ufrgs.br

Resumo

O presente trabalho apresenta um método para analisar explicações no ensino de ciência, baseado na abordagem sociocultural. O objetivo é especificar como uma explicação científica pode refletir mais de uma perspectiva geral (ou voz). O método é uma adaptação da estratégia analítica usada por James Wertsch para examinar narrativas em estudos sobre memória coletiva. Inspirado nos três aspectos do enunciado, conforme delineado por Mikhail Bakhtin, o método buscar caracterizar as explicações científicas em termos de *expressões típicas*, dos *conceitos* que são (e não são) incluídos na explicação, na *relação* entre estes conceitos e no *nível de descrição*. Estes elementos são usados para explorar duas dimensões básicas da explicação científica: a *função referencial* e a *função dialógica*. A utilidade desse método é avaliada a partir de uma análise da explicação de *referencial inercial* fornecida por David Halliday, Robert Resnick e Jearl Walker em seu influente livro-texto Fundamentos de Física. Os resultados da análise sugerem que a voz newtoniana não é a única voz presente na referida explicação.

Palavras chave: explicações científicas, abordagem sociocultural, dialogismo.

Abstract

This paper presents a method to analyze explanations in science teaching, based on sociocultural approach. The aim of the study is to specify how more than one general perspective (or voice) is reflected in scientific explanation. This method is an adaptation of a strategy used by James Wertsch to examine narratives in studies of collective memory. Inspired by the three aspects of the utterance, as outlined by Mikhail Bakhtin, this method seek to characterize scientific explanation in terms of *typical expressions*, the *concepts* that are (and are not) included in explanation, the *relation* of these concepts and their *level of description*. These notions are used to explore two basic dimensions of scientific explanation: the *referential function* and the *dialogic function*. The utility of this method is assessed by examining the explanation of *inertial frame* as presented by David Halliday, Robert Resnick, and Jearl Walker in their influent textbook *Fundamentals of Physics*. The results of the analysis suggest that the Newtonian voice is not the only voice heard in this explanation.

Key words: scientific explanation, sociocultural approach, dialogism.

Introdução

Conforme Geelan (2012) tem apontado, apesar de a explicação constituir parte fundamental do trabalho do professor de ciências, existe uma quantidade relativamente pequena de artigos na literatura relatando pesquisas sobre este tema. Talvez a maior exceção seja o influente livro de Ogborn et al. (1996), obra em que os autores propõe uma nova linguagem para descrever o ato de explicar ciências em sala de aula. Na Filosofia da Ciência, por outro lado, existe uma larga tradição em estudos sobre a natureza da explicação científica (SALMON, 1989). No entanto, apesar de alguns poucos esforços em articular Filosofia da Explicação com Educação em Ciências (BRAATEN; WINDSCHITL, 2011; HADZIDAKI, 2008; NORRIS et al. 2005), é seguro afirmar que o tema *explicação*, na formação de professores, não tem sido um grande foco de interesse das pesquisas em nossa área.

O presente trabalho pretende contribuir com estes esforços ao apresentar um método para analisar explicações no ensino de ciências, baseado na abordagem sociocultural. O objetivo é especificar como uma explicação científica pode refletir mais de uma perspectiva geral, ou voz (BAKHTIN, 1981). Nossas questões de pesquisa podem então ser formuladas da seguinte maneira: De que modo um explicação científica pode incorporar diferentes (e às vezes, inconsistentes) perspectivas sobre o mundo natural? Como essas diferentes perspectivas podem oferecer restrições à atuação discursiva do professor de Ciências?

Partindo das ideias de Lev S. Vygotsky (1981), Mikhail M. Bakhtin (1986) e James V. Wertsch (1998), esta proposta busca caracterizar as explicações em ciências como *ferramentas culturais* para representar o mundo natural. De acordo com essa perspectiva, aprender ciências é o mesmo que *dominar* explicações científicas fornecidas por outros, em contextos socioculturais específicos. Nosso método é inspirado na estratégia analítica usada por Wertsch (2008) para examinar narrativas históricas em estudos sobre memória coletiva. Neste sentido, exploramos uma distinção analítica entre duas dimensões básicas da explicação: sua *função referencial* e sua *função dialógica*.

Considerando os três aspectos do enunciado definido por Bakhtin (1986), nosso método busca caracterizar as explicações científicas em termos de *expressões típicas*, dos *conceitos* que são (e não são) incluídos na explicação, na *relação* entre estes conceitos e em seu *nível de descrição*. A produtividade desse método é avaliada a partir de uma análise da explicação do conceito de *referencial inercial*, conforme apresentado no influente livro-texto de graduação Fundamentos de Física (Volume 1 – Mecânica), de Halliday, Resnick e Walker (2008). Essa análise é motivada pelo pressuposto de que livros-textos de graduação servem de “recursos textuais” (WERTSCH, 2002) disponibilizados para professores de ciências em formação. Os resultados de nossa análise sugerem que a voz newtoniana não é a única voz presente na explicação oficial sobre referenciais inerciais.

Narrativas históricas e explicações científicas

Nossa abordagem às explicações científicas é inspirada na análise de narrativas históricas realizada por Wertsch (2008) em seus estudos sobre memória coletiva. Tais estudos foram motivados pelo pressuposto de que o lembrar envolve uma tensão irreduzível entre agentes ativos e recursos textuais na forma de narrativa (WERTSCH, 2002). Para caracterizar as narrativas como ferramentas culturais, o autor as abordou tanto em termos de sua função quanto de sua organização. Com relação à primeira, o autor identificou duas funções gerais das narrativas: a função referencial e a função dialógica. A função referencial diz respeito ao potencial das narrativas para se referir a atores, cenários e eventos. O foco dessa função está

na relação entre as narrativas e os objetos que elas representam. A função dialógica, por sua vez, se refere à relação que uma narrativa pode ter com outras. A ênfase, neste caso, está no modo como uma narrativa fornece uma resposta dialógica a outras narrativas (ou antecipa narrativas subsequentes).

Ao examinar relatos escritos sobre a segunda guerra mundial, fornecidos por cidadãos russos que tiveram sua educação formal básica concluída antes e após a queda da União Soviética, Wertsch (2008) adotou um método analítico que aborda os seguintes elementos: as *expressões usadas*, os *eventos* que são (e não são) incluídos na narrativa, o *enquadramento* desses eventos e o seu *nível de descrição*. Estes elementos guardam uma estreita relação com os três aspectos do enunciado apontados por Bakhtin (1986). Este define o enunciado como sendo a “unidade real de comunicação verbal” e os caracteriza em termos de seu *estilo linguístico*, *conteúdo temático* e *estrutura composicional*. As expressões usadas na narrativa, nesse caso, fariam parte do estilo linguístico enquanto que os eventos incluídos e o nível de descrição fariam parte do conteúdo temático. Já o enquadramento dos eventos mencionados constituiria a estrutura composicional da narrativa. A construção de significados, no enunciado, deriva da relação entre esses aspectos e informações oriundas do *contexto extraverbal* da realidade, tais como situação, configuração, pré-história, etc. (BAKHTIN, 1986, p. 73).

No intuito de caracterizar as explicações científicas como ferramentas culturais, propomos uma adaptação do método analítico desenvolvido por Wertsch (2002, 2008) para analisar as explicações no ensino de ciências – tanto escritas quanto faladas. Nosso método caracteriza as explicações científicas em termos de expressões típicas (e.g., princípio da *indeterminação* em oposição ao princípio da *incerteza*), dos conceitos que são (e não são) incluídas na explicação (e.g., a presença ou ausência de variáveis ocultas na explicação de fenômenos quânticos), na relação (causal ou semântica) entre esses conceitos e no seu nível de descrição (e.g., uma abordagem mais fenomenológica em oposição a uma visão mais realista). No caso de análises de livros didáticos, parte do contexto pode ser reconstituída a partir de episódios da história da ciência (e.g., as questões que motivaram Bohm a desenvolver sua interpretação causal da mecânica quântica). No caso de análises de explicações fornecidas por professores e alunos nas aulas de ciências, o contexto pode ser descrito em termos da situação social mais imediata ou da configuração social da sala de aula.

Além disso, exploramos também a função referencial e a função dialógica das explicações. A função referencial tem a ver com a potencialidade da explicação para se referir a eventos e entidades reais do mundo natural. Tais entidades atuam como protagonistas de uma história, produzindo o fenômeno a ser explicado (OGBORN et al., 1996). A função referencial envolve não apenas a referência a entidades e processos. Uma característica da explicação como ferramenta cultural é que ela permite relacionar uma série de conceitos em um todo interpretável e coerente, servindo como um “dispositivo de pensamento” (LOTMAN, 1988). Assim como nas narrativas, a função dialógica se refere ao modo como uma explicação científica fornece uma resposta dialógica a outras explicações. É importante destacar que a função dialógica das explicações científicas ainda não foi explorada tanto na literatura sobre filosofia da explicação quanto nas pesquisas em educação em ciência.

Explicando referenciais inerciais: uma análise ilustrativa

No intuito de ilustrar o método discutido na seção anterior, apresentamos uma análise da explicação sobre referencial inercial apresentada por Halliday, Resnick e Walker (2008) em seu influente livro-texto de graduação Fundamentos de Física (Volume 1 – Mecânica). Essa obra tem sido a principal referência bibliográfica em cursos de Física Geral na maioria das

universidades brasileiras. O conceito de referencial inercial foi escolhido devido às controvérsias históricas em torno dos conceitos de espaço e tempo absolutos (MACH, 1960). Como procedimento metodológico, selecionamos um fragmento do texto e o transcrevemos para análise. Apesar de os limites do enunciado serem definidos a partir da “alternância do sujeito falante” (BAKHTIN, 1986), entendemos que a seção sobre referencial inercial (capítulo 5) constitui ela própria um enunciado na medida em que seu final prepara o terreno para o entendimento responsivo ativo de outros sujeitos. O segmento de discurso escrito selecionado para análise é apresentado a seguir.

A primeira lei de Newton não se aplica a todos os referenciais, mas podemos sempre encontrar referenciais nos quais essa lei (assim como o resto da mecânica newtoniana) é verdadeira. Esses referenciais são chamados de **referenciais inerciais**.

☞ Referencial inercial é um referencial para o qual as leis de Newton são válidas.

Assim, por exemplo, podemos supor que o solo é um referencial inercial, desde que possamos desprezar os movimentos astronômicos da Terra (como sua rotação).

Esta hipótese é válida se, digamos, fazemos deslizar um disco metálico em uma pista *curta* de gelo (supondo que a resistência que o gelo oferece ao movimento é tão pequena que pode ser desprezada); descobrimos que o movimento do disco obedece às leis de Newton. Suponha, porém, que o disco deslize sobre uma *longa* pista de gelo a partir do pólo norte [...] Se observarmos o disco a partir de um referencial estacionário no espaço, constataremos que o disco se move para o sul ao longo de uma trajetória retilínea, já que a rotação da Terra em torno do pólo norte simplesmente faz o gelo escorregar por baixo do disco. Entretanto, se observarmos o disco de um ponto do solo, que acompanha a rotação da Terra, a trajetória do disco não é uma reta. Como a velocidade do solo sob o disco, dirigida para leste, aumenta com a distância entre o disco e o pólo, do nosso ponto de observação fixo no solo o disco parece sofrer um desvio para oeste [...] Esta deflexão aparente não é causada por uma força, como exige as leis de Newton, mas pelo fato de que observamos o disco a partir de um referencial em rotação. Nesta situação, o solo é um **referencial não-inercial**.

Nesse livro supomos quase sempre que o solo é um referencial inercial e que as forças e acelerações são medidas nesse referencial. Quando as medidas são executadas, digamos, em um elevador acelerado em relação ao solo, que é um referencial não-inercial, os resultados podem ser surpreendentes [...] (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, p. 97-98, ênfase no original).

O fragmento de discurso acima apresenta uma explicação newtoniana típica. Em termos de sua função referencial, a explicação que segue após a definição de referencial inercial toma a forma de uma história envolvendo uma série de protagonistas (e.g., disco metálico, pistas de gelo, a Terra, etc.) produzindo os eventos que resultam no fenômeno a ser explicado (OGBORN et al., 1996). Ao longo da explicação, é possível observar uma cadeia causal de acontecimentos, em que o *deslizamento* do disco sobre uma longa pista de gelo (a partir do polo norte) e o movimento de *rotação* da Terra sobre seu próprio eixo resultam na deflexão aparente do disco para o oeste. Essa cadeia de acontecimentos estrutura o enunciado de modo a formar um todo interpretável e coerente. Essa linha de raciocínio é consistente com a abordagem causal à explicação científica (SALMON, 1984).

Para explorar a função dialógica, no entanto, se faz necessário levantar alguns elementos do contexto. Uma questão particularmente importante, neste caso, é que a mecânica newtoniana

tipicamente apresentada nos livros-textos de graduação guarda poucas semelhanças com a mecânica originalmente formulada por Newton em 1687 (ASSIS e ZYLBERSZTAJN, 2001). Além do formalismo matemático, antes fortemente baseado em argumentos geométricos, alguns conceitos centrais da teoria também foram revisados. Um conceito importante, neste sentido, é o conceito de espaço absoluto. Para filósofos como Berkeley e Leibniz, o espaço absoluto newtoniano era visto como um obscurantismo metafísico (ZYLBERSZTAJN, 1994). As críticas mais duras à mecânica newtoniana, no entanto, viriam anos mais tarde com os trabalhos de Ernest Mach (1960). Ele acreditava que era possível reescrever os princípios da mecânica de modo a incluir apenas quantidades relativas. Essas ideias exerceram forte influência no pensamento de Einstein (1997) que propôs a equivalência entre referenciais acelerados (não-inerciais) e referenciais inerciais imersos em um campo gravitacional como uma extensão do seu princípio da relatividade.

Voltando à nossa explicação acima, é importante destacar que Newton nunca usou o termo “referencial inercial” em sua obra (NEWTON, 1995). Assim, apesar de a voz newtoniana se fazer presente ao longo de toda a explicação, é possível “ouvir” também as vozes da comunidade científica, neste caso, representada pelos próprios autores do livro-texto. Igualmente importantes são os conceitos que *não* são mencionados na explicação. O conceito de espaço absoluto, crucial para a formulação da primeira lei da Newton, foi completamente excluído de cena. Sua presença, no entanto, é bastante aparente no fragmento de discurso analisado. Na passagem “Se observarmos o disco a partir de um referencial estacionário no espaço”, por exemplo, poderíamos perguntar com relação ao que o referencial estacionário deve ser considerado. O mesmo pode ser observado na passagem “Esta deflexão aparente não é causada por uma força, como exige as leis de Newton, mas pelo fato de que observamos o disco a partir de um referencial em rotação”. Novamente, alguém poderia se perguntar com relação ao que a rotação da Terra deve ser considerada. A presença do conceito de espaço absoluto também é aparente no uso de expressões típicas como “o disco *parece* sofrer um desvio para oeste” ou “Esta deflexão *aparente*”.

Apesar da presença implícita do conceito de espaço absoluto, o uso do termo referencial inercial (ao invés de espaço relativo), na explicação, é uma resposta direta às críticas de Mach e/ou às contribuições de Einstein. Essa responsividade é o que caracteriza a “multivocalidade” (WERTSCH, 1991) inerente a qualquer enunciado. Embora os nomes de Einstein e/ou Mach não sejam explicitamente mencionados, sua presença invisível molda a estrutura do enunciado de maneira essencial. Esse tipo de fenômeno é discutido na literatura em termos da noção de “dialogicidade oculta” (BAKHTIN, 1984). O modo como a dialogicidade oculta dá forma a essa explicação pode ser observado no nível de descrição utilizado. Apesar de a mecânica newtoniana originalmente seguir uma orientação epistemológica mais realista, no sentido de se referir a entidades externas à teoria (e.g., distinção entre espaço absoluto e espaço relativo), o termo referencial inercial, que tem origem na crítica positivista à mecânica, não é definido em termos próprios, sem fazer referência à teoria. Na tentativa de formular uma definição operacional para esse conceito, a afirmação de que um referencial inercial é “um referencial para o qual as leis de Newton são válidas” coloca a natureza a serviço da teoria em vez de colocar a teoria a serviço da natureza. Como resultado, tal definição introduz um viés antirrealista/racionalista-extremo na explicação, que é incompatível com a visão newtoniana.

Em um importante sentido, o conceito de referencial inercial dissimula a distancia entre uma abordagem mais relativista, inspirada em Mach, e uma distinção mais realista-objetivista entre espaço absoluto e espaço relativo. Embora as ideias mais centrais de Newton tenham sido preservadas na explicação, muito da crítica positivista contra a mecânica newtoniana foi parcialmente incorporada na forma contemporânea de apresentar sua teoria. Como resultado, a explicação de referencial inercial analisada neste trabalho torna-se uma fonte em potencial

de confusão e mal-entendidos entre professores de Física em formação inicial. Nesse sentido, além das possibilidades oferecidas, a ferramenta cultural em questão também impõe importantes “restrições” (WERTSCH, 1998) para a representação da mecânica newtoniana.

Considerações finais

Neste trabalho, apresentamos um método para analisar explicações no ensino de ciências, baseado na abordagem sociocultural. Este método é inspirado na análise de narrativas como ferramentas culturais para representar eventos do passado em estudos sobre memória coletiva (WERTSCH, 2008). Com referência aos elementos do enunciado, conforme discutido por Bakhtin (1986), o presente método leva em consideração as expressões típicas, os conceitos que são (e não são) incluídos na explicação, na relação (semântica ou causal) entre esses conceitos e em seu nível de descrição. Além disso, nosso método analisa duas funções gerais da explicação, a função referencial e a função dialógica. Finalmente, como ilustração do método, apresentamos uma análise de uma explicação sobre referencial inercial fornecida por Halliday, Resnick e Walker (2008) em seu influente livro-texto de graduação, Fundamentos de Física. Os elementos identificados na explicação podem ser visualizados na tabela 1.

Elementos	Exemplos
<ul style="list-style-type: none">• Expressões típicas	<ul style="list-style-type: none">• e.g., Deflexão aparente
<ul style="list-style-type: none">• Conceitos incluídos	<ul style="list-style-type: none">• Referencial inercial
<ul style="list-style-type: none">• Conceitos não-incluídos	<ul style="list-style-type: none">• Espaço absoluto
<ul style="list-style-type: none">• Relação (causal) entre conceitos	<ul style="list-style-type: none">• O deslizamento do disco sobre gelo e a rotação da Terra resultam no desvio aparente do disco para o oeste
<ul style="list-style-type: none">• Nível de descrição	<ul style="list-style-type: none">• Definição operacional de referencial inercial
<ul style="list-style-type: none">• Contexto	<ul style="list-style-type: none">• Controvérsias históricas acerca do conceito de espaço absoluto

Tabela 1. Elementos identificados na análise da explicação de referencial inercial.

Conforme mencionado anteriormente, os estudos sobre explicações no ensino de Ciências tendem a se concentrar na função referencial das explicações, evidenciando as relações causais existentes entre entidades reais do mundo natural (OGBORNE et al., 1996). Já a abordagem sociocultural às explicações científicas, aqui proposta, se concentra na função dialógica das explicações, evidenciando a relação que uma explicação pode ter com outra explicação. Essa relação certamente traz novos elementos para o estudo das explicações no ensino de Ciências.

A análise da função dialógica das explicações também traz importantes contribuições para o debate filosófico sobre explicação científica. De acordo com nossa abordagem, as explicações não são apenas respostas para perguntas-do-tipo-por-que, conforme pressupõe a abordagem pragmática à explicação científica (VAN FRAASSEN, 1980), mas constituem também uma atitude responsiva com relação a outras respostas. Essa possibilidade não foi considerada ainda pelos filósofos da explicação.

Finalmente, acreditamos que nosso trabalho pode trazer contribuições para a própria pesquisa sociocultural. Tendo em vista que as explicações possuem características bastante distintas daquelas que caracterizam as narrativas (NORRIS et al., 2005), abordar as explicações científicas como ferramentas culturais para representar o mundo natural pode trazer novos elementos para os estudos da ação mediada.

Agradecimentos e apoios

O autor deste trabalho agradece o apoio parcial do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

ASSIS, A. K. T.; ZYLBERSZTAJN, A. The influence of Ernest Mach in the teaching of mechanics. **Science and Education**, Dordrecht, v. 10, n. 1-2, p. 137-144, 2001.

BAKHTIN, M. M. **The dialogic imagination: Four essays** by M.M. Bakhtin. Austin: University of Texas Press, 1981.

BAKHTIN, M. M. **Problems of Dostoevsky's poetics**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1984.

BAKHTIN, M. M. **Speech genres and other late essays**. Austin: University of Texas Press, 1986. p. 60-102.

BRAATEN, M.; WINDSCHITL, M. Working toward a strong conceptualization of scientific explanation for science education. **Science Education**, Hoboken, v. 95, n. 4, p. 639-669, 2011.

EINSTEIN, A. The foundations of the general theory of relativity. In: EINSTEIN, A. **The Collected papers of Albert Einstein vol. 6, The Berlin years: writings 1914-1917**. Princeton: Princeton University Press, 1997. p. 146-201.

GEELAN, D. Teacher explanation. In: FRASER, B. J.; TOBIN, K. G.; MCROBBIE, C. J. (Eds.). **Second International Handbook of Science Education: Vol. 1**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 987-1000.

HADZIDAKI, P. 'Quantum mechanics' and 'scientific explanation' An exploratory strategy aiming at promoting understanding. **Science & Education**, Dordrecht, v. 17, n. 1, p. 49-73, 2008.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Vol. 1 – Mecânica**. 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

LOTMAN, Y. M. Text within a text. **Soviet Psychology**, Abingdon, v. XXVI, n. 3, p. 32-51, 1988.

MACH, E. **The science of mechanics: a critical and historical account of its development**. LaSalle: Open Curt, 1960.

NEWTON, I. **The principia**. New York: Prometheus Books, 1995.

NORRIS, S. P.; GUILBERT, S. M.; SMITH, M. L.; HAKIMELAHI, S.; PHILLIPS, L. M. A theoretical framework for narrative explanation in science. **Science Education**, Hoboken, v. 89, n. 4, p. 535-563, 2005.

OGBORN, J.; KRESS, G.; MARTINS, I.; MCGILLICUDDY, K. **Explaining science in the classroom**. Buckingham: Open University Press, 2006.

SALMON, W. C. **Scientific explanation and the causal structure of the world**. Princeton: Princeton University Press, 1984.

SALMON, W. C. Four decades of scientific explanation. In: KITCHER, P.; SALMON, W. C. (Eds.). **Minnesota studies in the philosophy of science: Vol. XIII. Scientific explanation**.

Minnesota: Minnesota University Press, 1989. p. 3-219.

VAN FRAASSEN, B. C. **The scientific image**. Oxford: Clarendon, 1980.

VYGOTSKY, L. S. The instrumental method in psychology. In: WERTSCH, J. V. (Ed.). **The concept of activity in Soviet psychology**. Armonk: Sharpe, 1981. p. 134-143.

WERTSCH, J. V. **Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action**. Cambridge: Harvard University Press, 1991.

WERTSCH, J. V. **Mind as action**. New York: Oxford University Press, 1998.

WERTSCH, J. V. **Voices of collective remembering**. New York, Cambridge University Press, 2002.

WERTSCH, J. V. The narrative organization of collective memory. **Ethos**, Urbana, v. 36, n. 1, p. 120-135, 2008.

ZYLBERSZTAJN, A. Newton's absolute space, Mach's principle and the possible reality of fictitious forces. **European Journal of Physics**, Berlin, v. 15, n. 1, p.1-8, 1994.