

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Acadêmico em Ensino de Física

**SOBRE A ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DAS EXPLICAÇÕES CIENTÍFICAS NO
ENSINO DE FÍSICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Renato Felix Rodrigues

Porto Alegre
2016

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Acadêmico em Ensino de Física

**SOBRE A ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DAS EXPLICAÇÕES CIENTÍFICAS NO
ENSINO DE FÍSICA**

Renato Felix Rodrigues

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do prof. Dr. Aleksandro Pereira de Pereira e coorientação do Prof. Dr. Paulo Roberto Menezes Lima Junior, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre

2016

Dedico este trabalho a todas as pessoas
que acreditam que são capazes de mudar
o mundo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Alex e Paulo, pelas contribuições fundamentais que deram para a realização deste trabalho e por serem exemplos de profissionais e seres humanos nos quais eu tanto me espelho.

À minha família por todo o suporte material e afetivo que fez com que a realização deste trabalho fosse possível. Especialmente a minha mãe, Iracema; meu irmão, Renan; e meu pai, Alcino.

Aos amigos e colegas que tornaram a realização deste trabalho mais agradável e que estão presentes de inúmeras formas neste texto: Tobias, Felipe Carvalho, Claudio, Matheus, André, Djonathan, Felipe Selau, Paulo Rebeque, Vágner, Terrimar, Maykon, Diego, Lidiane, Álvaro, Bernardo e Izabel.

Aos professores do Instituto de Física da UFRGS pela atenção e pelos inúmeros ensinamentos durante a realização deste mestrado.

Aos alunos da licenciatura em Física da UFRGS que cursaram a disciplina de Seminários sobre tópicos especiais de Física geral I nos semestres de 2014/2 e 2015/2, por terem aceitado participar do estudo empírico realizado durante este trabalho.

Às várias pessoas que moraram comigo ao longo dos últimos dois anos em Porto Alegre, especialmente: Renan Pereira, Rafael, Hadjer, Jonas, Cristiane, Suzi, Victor, Péricles, Diego, Eunice, Édson, Eliezer, César, Felipe, Shauna, Giordano e Taís, pelos inúmeros ensinamentos e pela convivência estimulante.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado concedida.

RESUMO

Explicações científicas são um dos elementos mais importantes do ensino de ciências. Elas estão relacionadas com a noção de natureza de ciência que reproduzimos, à compreensão adequada de conceitos e ao compartilhamento de hipóteses e princípios científicos. Embora não haja uma definição única de explicação científica que seja aceita de forma consensual por parte dos pesquisadores desse tema, nas últimas décadas ele tem sido abordado em um número crescente de trabalhos publicados em periódicos internacionais especializados em pesquisas sobre Ensino de Ciências. Apesar disso, consideramos que este tema tem recebido pouca atenção da comunidade de pesquisa em ensino de Ciências no Brasil, em particular no que diz respeito a atividades relacionadas à construção de explicações científicas durante a formação de professores. Neste trabalho investigamos elementos que fazem parte de explicações produzidas por futuros professores e a forma como estes elementos são relacionados entre si na organização da explicação. Para isso, propomos uma forma de estrutura organizacional de explicações científicas e a utilizamos para analisar seminários apresentados por alunos de um curso de licenciatura em Física durante uma das disciplinas deste curso, referente a tópicos relacionados ao conteúdo de mecânica. Nossa estrutura organizacional foi elaborada a partir de trabalhos realizados por James Wertsch (2008) sobre narrativas, a partir dos quais adaptamos para o estudo de explicações científicas duas estruturas que Wertsch propôs com respeito a narrativas: *explicações específicas* e *moldes esquemáticos explicativos*. Relacionamos as explicações específicas aos *momentos explicativos* propostos por Ogborn, Kress, Martins e McGillicuddy (1996) e os moldes esquemáticos explicativos a tipos de explicações propostos por filósofos das explicações – em particular o modelo Mecânico-Causal, as explicações de Unificação e explicações Funcionais. Em nossa análise empírica buscamos identificar objetivos pedagógicos que os diferentes tipos de explicações científicas identificadas se destinaram a atender e observamos uma (inesperada) baixa ocorrência de explicações científicas nos seminários que acompanhamos, acompanhada de uma forte ênfase no treinamento da habilidade de resolução de problemas matemáticos. Utilizamos estes resultados para problematizar questões relacionadas à formação de professores para a educação básica à luz do uso que é feito de explicações científicas.

Palavras-Chave: Ensino de Física; Explicações Científicas; Filosofia das Explicações; Formação de professores; Mecânica newtoniana.

ABSTRACT

Scientific explanations are among the most important elements in science teaching. They relate to the notion of nature of science we reproduce, to the better understanding of concepts and to share scientific principles and hypotheses. Although there is no single scientific explanation's definition consensually accept by researchers in this theme, in the last decades it has been addressed in an increasing number of papers published in international journals on science teaching. However, we believe that this issue has received little attention from the research community in science teaching in Brazil, specially about activities related to constructing scientific explanations during teacher training. In this work we investigate elements related to scientific explanations elaborated by future teachers, and the way those elements are related to each others in explanation organization. For this, we propose an organizational structure of scientific explanation and we use it to analyze seminars presented by students of a Brazilian physics' teacher graduation during one of its disciplines, about topics related to mechanics. Our organizational structure was drawn from works done by James Wertsch (2008) on narratives, from which we adapted two structures that Wertsch proposed with respect to narratives for the study of scientific explanation: *specific explanations* and *explanatory schematic templates*. We associated specific explanations with *explicative moments* proposed by Ogborn, Kress, Martins e McGillicuddy (1996) and the schematic explanatory templates to explanation types proposed by explanation philosophers – especially the Causal Mechanical model, the Unification approach and the functional explanations. In our empirical analyze we seek to identify teaching goals that the different types of scientific explanations identified intended to meet and We noticed a (unexpected) low occurrence of scientific explanation in the seminars we follow, beside a strong emphasis on education to provide training in mathematical problem solving abilities. We used those results to discuss issues related to training teachers to basic education in light of the way scientific explanations are used.

Keywords: Physics teaching; Scientific Explanation; Philosophy of explanation; Teachers Training; Newtonian mechanics.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1. Perspectiva Linguística.....	15
2.2. Relação entre Explicações e Argumentos.....	17
2.2.1. Modelo de McNeill.....	19
2.2.2. Críticas ao modelo de McNeill.....	21
2.2.3. ExplanationConstructor de Sandoval.....	21
2.2.4. Distinguindo Explicações de Argumentos.....	22
2.3. Explicação.....	27
2.4. Narrativas.....	28
2.5. O que é uma explicação científica?.....	30
2.6. Conclusões sobre a revisão bibliográfica.....	32
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	35
3.1. Teoria da Ação Mediada.....	35
3.1.1. Análise genética.....	36
3.1.2. Origem social das funções mentais no indivíduos.....	37
3.1.3. Mediação.....	38
3.1.4. Kit de ferramentas.....	40
3.1.5. Trabalhos sobre Narrativas.....	41
3.2. Momentos explicativos.....	42
3.3. Modelos da filosofia das explicações.....	44
3.3.1. Modelo Dedutivo-Nomológico (D-N).....	46
3.3.2. Teoria pragmática da explicação.....	47
3.3.3. Modelo mecânico-causal (M-C).....	48
3.3.4. Modelo de Unificação.....	50
3.3.5. Explicações teleológicas/funcionais.....	53
3.3.6. Abordagem pragmática.....	55
3.4. Nossa abordagem.....	56
4. METODOLOGIA.....	60
4.1 Delineamento do estudo.....	60
4.2. Coleta e análise de dados.....	63
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	65
5.1. Explicações Específicas.....	65
5.1.1 Construindo entidades e atribuindo significados.....	65
5.2. Moldes Esquemáticos Explicativos.....	69
5.2.1. Explicação Causal.....	70
5.2.2. Explicação de Unificação.....	72
5.2.3. Explicação funcional.....	74
5.2.4. Explicação Mista.....	74
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
7. REFERÊNCIAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

Políticas educacionais internacionais têm começado a dar cada vez mais ênfase para a produção de explicações científicas no ensino de ciências nas últimas décadas (e.g., *National Research Council* [NRC], 2007, 2011), o que resultou num aumento do número de pesquisas sobre o tema entre os pesquisadores em ensino de ciências. Esta tendência a dar maior ênfase às explicações também se verifica nas políticas educacionais brasileiras, como pode ser notado nos Parâmetros Curriculares Nacionais pela presença do objetivo educacional de possibilitar que os alunos identifiquem relações gerais entre fenômenos e consigam empregar modelos explicativos específicos da Física, promovendo a construção de abstrações indispensáveis ao pensamento científico e à vida (Brasil, 2007).

Explicações científicas são um dos elementos mais importantes do ensino de ciências. Elas estão relacionadas com a noção de natureza de ciência que reproduzimos, à compreensão adequada de conceitos e ao compartilhamento de hipóteses e princípios científicos, entre outras coisas. Para Chambliss, Christenson e Parker (2003), compor uma explicação pode ser uma tarefa particularmente eficaz para dar suporte ao raciocínio científico e compreensão. E segundo Berland e Reiser (2009) se o objetivo do ensino de ciências é fomentar a participação dos estudantes em práticas científicas, então nossa compreensão sobre explicação deve expandir para incluir os processos de construção dessas explicações. Como resumido por Lehrer e Schauble (2006), um foco em práticas científicas significa que nós devemos examinar ciência não apenas em termo de produtos – como a compreensão dos estudantes de explicações cientificamente precisas – mas também em termos de modos de falar sobre fenômenos e participar em uma prática de comunidade. Se nós queremos que estudantes se engajem em práticas de construção de conhecimento, então nós devemos entender como explicações são construídas e o contexto social que torna esta prática significativa.

A literatura em ensino de ciências aborda estas questões ao destacar a natureza social do desenvolvimento de explicações (e.g., Lehrer & Schauble, 2006). Por exemplo, Ford (2006) descreve o aprendizado em comunidades tanto de cientistas como de estudantes como um processo de construir, testar e revisar compreensões por meio de debates públicos sobre como melhor explicar o fenômeno sobre estudo. Esta visão da ciência e aprendizado de ciência postula que explicações e modelos de fenômenos científicos são construídos por meio de discurso social no qual

esses artefatos – tais explicações e modelos – são questionados, avaliados e revisados.

Uma vez que a linguagem científica possui características específicas – que incluem alta densidade de informação, abstração, tecnicidade e autoritarismo (Fang, 2006; Halliday & Martin, 1993) – estudantes podem se confundir facilmente ao tentarem compreendê-la e reproduzi-la (Yang & Wang, 2014). Adicionalmente, a escrita científica envolve o uso de habilidades de raciocínio para organizar informação e explicar fenômenos científicos, e a maioria dos professores de ciências não usa ferramentas específicas de ensino para dar suporte a estudantes na aprendizagem de escrita científica (Braaten & Windschitl, 2011).

A prática atual de muitos professores experientes tende a focar na acumulação e repetição pelos estudantes de informação descritiva sobre fenômenos naturais e engajar estudantes em exercícios de observação ou de experimentação rudimentar, sem incentivar os estudantes a produzirem explicações científicas sobre os fenômenos (NRC, 2007; Braaten & Windschitl, 2011). Para que professores de ciências sejam capazes de encorajar jovens estudantes a mudarem de descrições para explicações em aulas de ciências, nós devemos proporcionar maior guia sobre a natureza de explicações científicas e mais *insights* sobre como professores e estudantes podem gerar e avaliar explicações científicas. Como dito por Braaten e Windschitl (2011), este não é meramente um exercício de precisão terminológica. Enquanto clareza de linguagem e significado é instrumental para comunicação e desenvolvimento de novas ideias, mais importante para o campo do ensino de ciências é uma visão compartilhada sobre quais tipos de aprendizagem são possíveis em sala de aula, como elas se articulam com práticas disciplinares autênticas e como podemos engajar nossos estudantes nelas. Levar estudantes e futuros professores a considerarem porque uma audiência deve acreditar e ser persuadida por ideias, em vez de realizar a tarefa de relatar respostas “corretas”, é um desafio central para trazer práticas autênticas para aulas de ciências (Duschl & Grandy, 2007; Jimenez-Aleixandre, Bugallo Rodriguez & Duschl, 2000). Berland e Reiser (2009) notam que o desafio que estudantes e futuros professores enfrentam com respeito ao objetivo de persuadir emerge de um aparente conflito entre as expectativas inerentes ao objetivo e as normas tradicionais da sala de aula: normas de aulas tradicionais não proporcionam uma razão para estudantes usarem evidências para persuadirem uma audiência de suas ideias.

O propósito da ciência é explicar fenômenos, enquanto que propostas políticas como o NRC (2007) e as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) (Brasil, 2007) colocam que o objetivo do ensino de ciência é alcançar um maior grau de

letramento científico. É vital para esse objetivo a necessidade de que estudantes desenvolvam uma compreensão significativa de conceitos científicos e que expliquem fenômenos cotidianos por meio desses conceitos (Nieswandt & Bellomo, 2009). Explicação científica é uma boa forma de representar conhecimento científico, mas pesquisas apontam que a compreensão de explicação frequentemente se demonstra difícil para estudantes (Berland & Reiser, 2009). Assim como Yang e Wang (2014), acreditamos que melhorar a compreensão de explicações científicas por parte de estudantes e professores poderá ajudá-los a aprender ciência de forma mais efetiva. Ensinar professores a utilizarem explicações científicas adequadamente pode torná-los comunicadores científicos mais habilidosos e poderá proporcionar que eles incentivem seus alunos a produzirem explicações científicas, uma prática que pesquisas na área (e.g., Kapon, Ganiel & Eylon, 2010; Klein, 2004; Yang & Wang, 2014) tem mostrado ser exitosa para melhorar a aprendizagem dos alunos. Braaten e Windschitl (2011) apontaram que a maioria dos professores de ciências elabora seqüências didáticas usando materiais curriculares existentes e não usam ferramentas de ensino específicas. Professores precisam saber como práticas complexas da explicação científica podem ser aplicadas ao currículo que eles usam diariamente. Com esse respeito o desenvolvimento de um modelo instrucional apropriado para dar suporte na formação de novos professores e para melhorar suas habilidades de explicar cientificamente é essencial (Yang & Wang, 2014).

Desenvolver proficiência na construção de explicações é um processo complexo e cognitivamente exigente. Estudantes devem possuir conhecimento sobre o conteúdo em questão, saber as características principais que constituem uma explicação apropriada e entender como construir explicações relacionadas a práticas de construção de conhecimento. Pesquisas anteriores mostraram que estudantes encontram vários obstáculos, e foram feitas tentativas para ajudá-los a superar alguns desses desafios (e.g., Ihme & Wittwer, 2015; McNeill, Lizotte & Krajcik, 2006; Newton, 2010). Baseados na análise da natureza de explicações e práticas científicas, algumas abordagens teóricas com propósitos instrucionais foram propostas, incorporando holisticamente formas de dar suporte a aspectos epistêmicos, estruturais, conceituais e/ou sociais da explicação científica (Wang, 2014). Por exemplo, os estudos de McNeill e seus colegas (McNeill *et al.*, 2006, McNeill & Krajcik, 2008) mostraram que, com a mediação de um modelo instrucional holístico, estudantes de ensino fundamental tiveram ganho substancial em sua competência de sintetizar explicações.

Nas políticas educacionais brasileiras também notamos uma valorização crescente do letramento científico e conseqüentemente do uso de explicações científicas no ensino de ciências.

Lira (2014), por exemplo, identificou nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) o prenúncio de uma concepção de explicação dialógica, construída a partir da interação professor e aluno, com a finalidade de formar uma rede de significados. No entanto, ela destaca que a constituição de explicação parece estar relacionada à formação de conceitos. A autora conclui que *para os PCNs em ciências explicar é construir; especificamente, conceitos científicos e não construir conhecimentos científicos*. Além disso, ensinar ciências parece se restringir à formação de conceitos e conhecimentos das “coisas”, sem necessariamente ter uma compreensão dos fenômenos, perspectiva que conduz o professor a trabalhar em uma abordagem conteudista. Já a Base Nacional Curricular Comum proposta recentemente (Brasil, 2015) propõe como um dos quatro eixos norteadores do ensino de ciências o que ela chama de “apropriação das linguagens das ciências da natureza”. Neste eixo é ressaltada a importância do domínio das linguagens específicas das Ciências da natureza e das múltiplas linguagens envolvidas na comunicação e na divulgação do conhecimento científico (p.152). Este documento considera também como um dos objetivos do ensino de ciências possibilitar que os alunos sejam capazes de fazer uso de modos de comunicação e de interação para aplicação e divulgação de conhecimentos científicos e tecnológicos. Estes exemplos apontam a ênfase que as práticas comunicativas têm recebido no ensino de ciências recentemente.

Entendemos que explicações e argumentos são as principais formas de comunicar ideias científicas e que um objetivo básico do ensino de ciências é proporcionar que os alunos passem da capacidade inicial de descrever fenômenos para o ato de explicarem cientificamente a ocorrência de tal fenômeno, o que constitui uma importante parte do modo de pensar científico. Para que os alunos sejam capazes de entenderem e produzirem explicações científicas consideramos fundamental que seus professores tenham domínio sobre esta prática. No entanto, enquanto que muitos pesquisadores no ensino de ciências trabalham para dar suporte ao esforço de professores e estudantes ao tentarem produzir explicações científicas, é comum que esses projetos não apresentem fundamentação teórica com respeito ao que são explicações científicas. A falta de visão clara e definição sobre a substância e função dessas explicações frequentemente faz com que professores de cursos de formação docente e jovens professores tenham dificuldade em dar suporte ao trabalho de seus estudantes com explicações científicas (Braaten & Windschitl, 2011). Surge então a questão quanto à forma de dar suporte a professores e futuros professores para que estes sejam capazes, por sua vez, de proporcionar a seus alunos uma compreensão adequada tanto de conteúdos quanto de práticas científicas. Esta é uma questão complexa, que pode ser abordada de

diferentes formas e para a qual não parece haver uma resposta definitiva. Optamos por investigar a estrutura de explicações científicas, através de buscar compreender como conhecimentos científicos são organizados durante a produção dessas explicações. Além de considerar a existência de uma estrutura geral referente à construção de explicações consideramos também a existência de mais de um tipo de explicação científica. Buscamos então identificar alguns dos tipos de explicações científicas utilizadas para a construção de explicações relacionadas à comunicação de um conteúdo científico no contexto da formação de professores.

Dessa forma, neste trabalho dedicamo-nos a propor uma abordagem teórica referente à forma como explicações científicas são estruturadas (sua estrutura organizacional) e a identificar tipos de explicações científicas, identificando exemplos de seu uso em trechos de aulas de uma disciplina onde alunos de um curso de licenciatura em Física apresentam seminários sobre um conjunto de conteúdos preestabelecido (nesse caso, mecânica). Assim, as questões de pesquisa que buscamos responder neste trabalho são:

- Qual a estrutura organizacional de explicações científicas utilizadas por futuros professores em aulas de Física?
- Que tipos de explicações futuros professores de Física empregam ao aprenderem a ensinar conteúdos relacionados à mecânica?

Buscaremos responder a estas questões ao longo dos próximos capítulos. Começaremos fazendo uma revisão da literatura sobre os significados que o termo explicação possui entre pesquisadores do ensino de ciências, principalmente na comunidade internacional, e sobre os trabalhos realizados por eles. Passaremos então a apresentar os referenciais teóricos que utilizamos para elaborar a estrutura organizacional que propomos: a teoria da ação mediada de James Wertsch, modelos propostos entre filósofos da ciência e momentos explicativos propostos por Ogborn, Kress, Martins e McGillicuddy (1996). Apresentamos em seguida a metodologia utilizada para a realização da pesquisa empírica envolvendo licenciandos em Física, seguida de resultados alcançados a partir da análise de episódios retirados das aulas acompanhadas. Concluimos o trabalho discutindo implicações referentes ao uso desta abordagem e problematizando o uso de explicações científicas em cursos de formação de professores de Física.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O objetivo deste capítulo é apresentar um recorte sobre o modo como o tema *explicação científica* tem sido abordado pela comunidade internacional de pesquisadores em ensino de Ciências. Para isso, buscamos responder às seguintes perguntas: o que é uma explicação científica? Que abordagens teóricas a literatura tem utilizado para abordar esse tema? E que tipo de pesquisas têm sido realizadas?

Fazer uma revisão da literatura sobre o uso de explicações no ensino de ciências se demonstrou um desafio. O primeiro problema encontrado foi que o termo explicação é utilizado de várias formas na literatura, sendo utilizado com frequência para se referir ao ato de explicar algo sem que seja definido o que é considerado como sendo uma explicação (e.g., Corriveau & Kurkul, 2014; Sherin, Krakowski & Lee, 2012). Tentamos realizar a busca por trabalhos por meio de plataformas de busca digital como google acadêmico¹ e ERIC², combinando o termo explicação científica com outros termos como *física* e *ensino*. No entanto, em nossas inúmeras tentativas identificamos que foi comum aparecerem artigos que se referiam a explicações de forma periférica, como os exemplos citados anteriormente. Um outro problema foi o número muito baixo de artigos encontrados na literatura nacional com respeito a esta discussão, de modo que nossa revisão se concentra principalmente na literatura internacional sobre o tema. Nossa busca foi feita então utilizando a plataforma de busca ERIC, procurando por artigos contendo o termo *scientific explanation* no título e publicados entre 1996 e 2015³. Com esse critério foram encontrados 32 resultados, embora um mesmo artigo (Reiser, Berland & Kenyon, 2012) tenha aparecido repetido três vezes, o que reduziu nossa amostra inicial de artigos a 30. Foi então realizada a leitura desses artigos e nossas referências foram complementadas com trabalhos citados por esses trabalhos e que consideramos relevantes para as discussões aqui desenvolvidas.

Esta revisão não tem a intenção de fornecer uma extensa e completa abordagem de todos os trabalhos realizados sobre o tema. Ao invés disso, nosso objetivo aqui é apresentar um panorama com as principais discussões sobre o que são explicações científicas que identificamos durante nossas leituras. Explicações científicas têm sido uma área de interesse para uma diversidade de campos de pesquisa – entre eles: filosofia, linguística e ensino de ciências. Filósofos da ciência são

¹ Endereço: <https://www.scholar.google.com.br/>

² Endereço: <http://www.eric.ed.gov>

³ A busca foi realizada em outubro de 2015 e o termo utilizado para busca foi *title:"scientific explanation"*, com o filtro de *publication type: journal articles*.

geralmente interessados no que conta como uma explicação científica em termos da *função* que elas desempenham. Linguistas funcionais focam em identificar os elementos da linguagem (*forma*) de tais explicações, enquanto que pesquisadores em ensino de ciências geralmente estudam a qualidade (*nível*) de explicações produzidas por estudantes e professores (Yeo, & Gilbert, 2014). Neste capítulo revisamos diferentes modos como explicação científica tem sido abordada por diferentes campos de pesquisa, apresentando a seguir um breve resumo de nossas impressões e discutindo nas próximas seções as principais discussões que identificamos.

De acordo com nossas leituras, identificamos a filosofia da ciência como a primeira literatura a analisar sistematicamente o papel de explicações na comunicação de conhecimentos científicos, embora tal discussão esteja mais voltada para o objetivo de caracterizar o que são explicações científicas epistemologicamente, na tentativa de definir as características necessárias para que uma explicação seja aceita como científica. Nesta discussão surgiram inúmeros modelos e como nos baseamos em alguns deles para a construção de nossa proposta, optamos por apresentá-los na seção 3.3 deste trabalho, no capítulo de referencial teórico. Neste capítulo abordamos brevemente algumas pesquisas realizadas com respeito à abordagem dos linguistas funcionais sobre o tema e então passamos para a literatura relacionada ao uso de explicações científicas no ensino de ciências, área na qual buscamos nos aprofundar um pouco mais. Na literatura voltada ao ensino de ciências a principal preocupação que identificamos diz respeito ao domínio conceitual dos conteúdos científicos, domínio este que é apresentado muitas vezes através da habilidade de construir explicações que empreguem esses conhecimentos científicos. Mas esta tendência não se limita a incentivar que os alunos repitam as definições que se encontram nos livros. O letramento científico tem influenciado as pesquisas em ensino de Ciências, tanto na realização de trabalhos empíricos sobre diversas atividades relacionadas ao uso de explicações (e.g., Ihme & Wittwer, 2015; Kapon *et al.*, 2010; Klein, 2004; Newton, 2010; Rottman & Keil, 2011; Ruiz-Primo, Li, Tsai, & Schneider, 2010; Sevan & Gonsalves, 2008; Yang & Wang, 2014; Zangori & Forbes, 2014; Sherin, Krakowski & Lee, 2012) quanto na proposta de abordagens teóricas diversas (e.g., Braaten & Windschitl, 2011; McNeill *et al.*, 2006; Osborne & Patterson, 2011; Tschaeppe, 2012; Norris, Guilbert, Smith, Hakimelahi & Phillips, 2005; Ogborn *et al.*, 1996; Welsh, 2002). Essas pesquisas têm destacado a importância do debate com emprego de conhecimentos científicos e têm incentivado a realização de atividades de ensino que tornem mais frequente a ocorrência de atividades que capacitem os alunos a desenvolverem habilidades argumentativas, a capacidade de levantar hipóteses e criar e compreender analogias. Na literatura esta tendência tem se verificado também por meio da

realização de trabalhos sobre tópicos como o uso de argumentos (e.g., McNeill *et al.*, 2006, Sampson & Clark, 2008), metáforas e analogias em aulas de ciências (e.g., Niebert, Marsch & Treagust, 2012; Silva, 2007). Assim, tem se tornado comum na literatura que analisamos a realização de trabalhos que teorizam sobre as explicações produzidas durante atividades de ensino de ciências (Woodruff & Meyer, 1997; Norris *et al.* 2005; Berland & Reiser, 2009; Mil, Boerwinkel & Waarlo, 2013; Rusanen, 2014).

Uma primeira característica que pudemos notar por meio de nossas leituras com respeito ao ensino de ciências foi que os trabalhos são frequentemente voltados para o ensino de conteúdos específicos dentro de uma determinada disciplina: Física, Química, Biologia ou Ciências – principalmente na educação básica. Como Wang (2014) notou, o suporte é frequentemente acompanhado da introdução explícita de atributos que caracterizam o que é uma boa explicação (Braaten & Windschitl, 2011; Sampson, Grooms & Walker, 2011), pela introdução de critérios específicos (Chin & Osborne, 2010; Sampson *et al.*, 2011) ou utilizando bons e maus exemplos de explicações (Wang, 2014).

Tanto a literatura referente à filosofia da ciência quanto a literatura referente ao ensino de ciências sugerem que nenhuma definição única de explicação pode dar conta de todo o conjunto de informação que pode satisfazer uma solicitação por “explicação” (Norris *et al.*, 2005; Braaten & Windschitl, 2011; Berland & Reiser, 2009). A falta de uma visão clara e de uma definição sobre a substância e a função de explicações científicas faz com que professores de cursos de formação e jovens professores sintam dificuldade para dar suporte ao trabalho de estudantes com explicações científicas (Braaten & Windschitl, 2011). Autores destacam a importância da realização de trabalhos sobre este tema, já que uma conceitualização mais claramente articulada de explicações científicas para o ensino de ciências é necessária para que se possa engajar estudantes em algumas das práticas mais centrais da ciência e para desenvolver compreensão robusta do conhecimento científico (Braaten & Windschitl, 2011; Chinn & Malhotra, 2002; Driver, Asoko, Leach, Mortimer & Scott, 1994; Duschl & Grandy, 2008). No entanto, embora a natureza de explicação seja tipicamente consistente com vários programas de pesquisa, ela difere significativamente dentro do campo, resultando em ambiguidade conceitual (Braaten & Windschitl, 2011).

A concepção mais aceita na literatura é que explicação se refere à descrição de como e porque algo acontece (Berland & Reiser, 2009; McNeill & Krajcik, 2008). Uma explicação na ciência deve fazer sentido a partir de um fenômeno, baseada em outros fatos científicos e estabelecer relações

baseadas em evidências e raciocínio lógico (Berland & Reiser, 2009; Osborne & Patterson, 2011). A ciência foca na compreensão e explicação de fenômenos (Smolkin, McTigue, Donovan & Coleman, 2009), e alguns pesquisadores (McNeill, 2011; Osborne & Patterson, 2011, 2012) sugerem que é necessário distinguir entre explicação científica e argumentação científica. Nas próximas seções abordaremos as principais discussões sobre o uso de explicações na comunicação de conhecimentos científicos em ambiente escolar que pudemos identificar, o que inclui sua relação com outras práticas discursivas como argumentos, narrativas e explanações.

2.1. Perspectiva Linguística

Um grupo que tem se dedicado a estudar o papel desempenhado por explicações científicas no ensino de ciências são os linguistas funcionais⁴. Autores como Ainsworth (1999), Hubber, Titler e Haslam (2010), Lemke (1990, 1998 e 2004) e Prain, Tytler e Peterson (2009) reconhecem ciência como um discurso consistindo de uma mistura de formas multimodais de representação, onde modos linguísticos, numéricos, gráficos e gestuais são lincados para representar explicações científicas. Consideramos a principal contribuição desses estudos para o ensino de ciências residir no estímulo crescente na atenção ao papel que fatores sociais e materiais desempenham na mediação da abstração de entidades do mundo real e no pensamento sobre entidades abstratas durante a construção de explicações. Pesquisadores como Ainsworth (1999), Reiner (2009) e Lemke (1998) afirmam que para aprender ciência efetivamente, estudantes devem entender diferentes representações de conceitos científicos e processos, serem capazes de traduzi-los um no outro e entender o uso coordenado deles na representação de conhecimento científico.

Scheppegrell (2004, como citado em Yeo e Gilbert, 2014) concluiu a partir de estudos sobre textos científicos que explicações científicas são organizadas em uma sequência lógica, marcada com a inserção de terminologias específicas como corrente, elétrons e campo magnético. Já Veel (1997) analisou o gênero de explicações científicas e encontrou seis estruturas organizacionais diferentes. Por exemplo: uma explicação causal, que consiste na identificação de um fenômeno que é justificado por meio de uma sequência temporal de eventos/fases; ou uma explicação teórica, que consiste de uma afirmação teórica seguida por uma elaboração da teoria no contexto do fenômeno em questão.

No entanto, Unsworth (1998) comparou dois textos explicativos de ciência escolar sobre o

⁴ Functional linguists, em inglês.

mesmo tópico e encontrou que explicações podem diferir em termos de sua estrutura organizacional, sugerindo que os procedimentos seguidos na ciência nem sempre são seguidos no ensino de ciências. Se concordamos que linguagem permeia pensamento e raciocínio, então estudantes precisam aprender a manusear as ferramentas semióticas específicas (e.g., termos linguísticos, gêneros) quando eles explicam eventos de um dado fenômeno (Yeo & Gilbert, 2014). No entanto, Lemke (1990) aponta como a linguagem da ciência pode ser difícil para estudantes, enquanto que Perkins e Grotzer (2005) mostraram que estudantes, e mesmo professores, apresentam dificuldades com estruturas complexas que combinam vários fatores causais para promover uma explicação mais precisa de um fenômeno.

Outro pesquisador que se dedica a estudar a comunicação típica de sala de aula é Lemke (1990) que, no entanto, não se dedica explicitamente às explicações científicas. Em sua abordagem Lemke identifica dois padrões que fazem parte da linguagem científica: um padrão organizacional e um padrão temático. O Padrão Organizacional ao qual ele se refere consiste de padrões de interação, promovendo apenas a estrutura com a qual professores e estudantes interagem na sala de aula. Já o Padrão Semântico corresponde ao padrão de conexões entre o significado de palavras em um campo particular da ciência, estando relacionado diretamente com o conteúdo científico que é comunicado. Uma das questões levantadas por Lemke é observar que a ciência que vem sendo contada nas aulas de ciências mantém esses padrões implícitos na maior parte do tempo, de modo que as diferenças entre os padrões utilizados são raramente abordados, o que pode constituir um obstáculo para o desenvolvimento da capacidade dos alunos de produzirem explicações científicas adequadas.

Na construção de uma explicação, múltiplos modos de representação podem ser usados. Esses modos que são ‘escolhidos’ e ‘arranjados’ em uma situação específica podem refletir o tipo de relação que o indivíduo que produz a explicação está construindo com seu interlocutor e também um posicionamento relativo entre o produtor da explicação e o ‘texto’ produzido em um espaço de discurso social. Lemke (1998) se refere a esta metafunção de recursos semióticos como *significado orientacional*⁵. Significado orientacional pode informar o nível de precisão da explicação produzida, e pode também informar o posicionamento relativo de vários modos utilizados para construir explicações. A análise de significados orientacionais de uma explicação pode informar as funções de cada representação usada na comunicação, que subsequentemente foca nossa atenção para o ponto de vista (concreto ou abstrato) que está sendo enfatizado na explicação (Yeo & Gilbert, 2014).

⁵ Orientational meaning, em inglês.

Trabalhos como esses destacam a importância de apresentar os diferentes padrões utilizados na comunicação científica durante o ensino de ciências, enquanto que, como veremos mais adiante, as pesquisas sobre o uso de explicações no ensino de ciências apontam a insuficiência das abordagens produzidas até o momento para abordar tal questão.

2.2. Relação entre Explicações e Argumentos

Nesta seção são discutidas algumas das principais abordagens referentes ao uso de explicações propostas nas duas últimas décadas na literatura do Ensino de Ciências. Nesses trabalhos o uso de explicações é considerado em relação a práticas argumentativas. É importante destacar que assim como não há uma única concepção sobre o que se trata de uma explicação científica, também não há um consenso sobre o uso de argumentos no ensino de ciências. Ao fazer uma revisão da literatura Sampson e Clark (2008) identificam seis concepções distintas sobre o que constitui um argumento científico. Este trabalho mostra não só a variedade de concepções existentes mas também as perigosas implicações que tal indefinição quanto ao significado do termo argumento possui para a pesquisa no ensino de ciências. Assim, quando falarmos de argumentos nesta seção vamos nos referir especificamente às abordagens baseadas no padrão argumentativo de Toulmin (1958), por ser o que identificamos com maior frequência nos trabalhos encontrados em nossa revisão. Nossa discussão aqui gira em torno de trabalhos que utilizam o modelo proposto por Katherine McNeill e seus colaboradores (McNeill *et al.*, 2006; McNeill & Krajcik, 2008) e em seguida discutimos também o ExplanationConstructor proposto por Sandoval (2003). Em seguida introduzimos o debate que surgiu na literatura do ensino de ciências decorrente do artigo em que Osborne e Patterson (2011) apontam a confusão referente às terminologias empregadas na área com respeito a explicações e argumentos, discutindo sobre a importância de que a literatura trate estas duas atividades de forma distinta.

Explicação científica e argumentação são práticas chave na ciência com uma longa história intelectual de análise por filósofos da ciência e uma recente onda de análise por pesquisadores no ensino de ciências (Berland & Reiser, 2009; Hempel & Oppenheim, 1948; NRC, 2007). Berland e Reiser apontam que muitos pesquisadores no ensino de ciências tratam explicação e argumentação como uma única prática porque eles são interconectados epistemicamente em termos de usar evidências e lógica como parte de um gênero especializado de retórica. Mas eles também sugerem que tanto professores quanto estudantes devem se beneficiar do suporte educacional que separa aspectos de explicação científica de argumentação. Braaten e Windschitl (2011) perguntam, então,

quando alguém está engajado no trabalho de construção de argumento e quando alguém está trabalhando para desenvolver ideias explanatórias? Osborne (2010) e Bell (2010) destacaram o desafio que esta separação apresenta para professores de ciências que estejam tentando fazer uma escolha explícita para focar o aprendizado de ciência em umas poucas práticas científicas particulares.

Uma forma de engajar estudantes em atividades argumentativas consiste em confrontar as explicações de estudantes de modo que eles se encontrem em posição de tentar persuadir uns aos outros (Bell & Linn, 2000; Hatano & Inagaki, 1991; Osborne, Erduran & Simon, 2004). Nessas abordagens a construção de argumentos é colocada em primeiro plano e as explicações são apenas um subproduto desse processo. Outra forma comum é suportar estudantes na construção de explicações que podem ser defendidas com evidências (McNeill *et al.*, 2006; Sandoval & Millwood, 2005). Esta segunda estratégia usa a estrutura de um argumento científico – hipóteses defendidas com evidências – para dar suporte à construção de explicação dos estudantes. Berland e Reiser (2009) destacam que embora as ênfases dessas duas abordagens sejam distintas, ambas focam nos objetivos amplos de explicação e argumentação. A diferença entre elas reside em aspectos que elas escolhem para enfatizar e como isto é feito explícito durante sua intervenção.

Há também abordagens nas quais explicação e argumentação não são abordadas como categorias separadas mas sim como uma única prática (e.g., Hogan & Corey, 2001; Bielaczyc & Blake 2006, como citado por Berland & Reiser, 2009). Nestas abordagens o processo de construir uma explicação ocorre por meio do processo de negociar significados enquanto estudantes tentam persuadir uns aos outros de suas explicações. Esta combinação frequentemente implícita de argumentação e explicação, e a sobreposição de seus objetivos pedagógicos, sugere que muitas vezes é sensato combiná-las em uma única prática – prática à qual Berland e Reiser (2009) se referem como *construção e defesa de explicações científicas*.

No entanto, a junção de explicações e argumentos em atividades científicas resulta em uma prática com múltiplos objetivos. Além disso, como alguns objetivos instrucionais podem ser mais desafiadores para os estudantes do que outros, esta complexidade requer que nós professores separemos os objetivos dessas práticas para melhor entender e dar suporte aos estudantes no engajamento tanto com explicações quanto com argumentos. Por exemplo, estudantes podem achar o objetivo argumentativo de defender uma explicação contra críticas mais desafiador do que o objetivo explicativo de comunicar uma explicação causal para um evento (Berland & Reiser, 2009).

Berland e Reiser (2009) apresentam três objetivos da construção e defesa de explicações científicas: (1) usar evidências e conceitos científicos gerais para *fazer sentido do fenômeno sendo estudado*; (2) *articular essas compreensões* e (3) *persuadir outros dessas explicações* usando ideias da ciência para conectar explicitamente a evidência com as hipóteses de conhecimento. Os autores alegam que cada um desses objetivos é um passo crucial para o engajamento na construção de conhecimento por meio de processos sociais e avaliação e defesa de hipóteses. Assim, eles propõem os objetivos de *construir significado*, *articular* e *persuadir* como quadro teórico para entender a participação de estudantes em práticas de construção e defesa de explicações, definindo cada um desses objetivos e destacando o valor instrucional de cada um.

2.2.1. Modelo de McNeill

McNeill e seus colegas (McNeill *et al.*, 2006; McNeill & Krajcik, 2008; McNeill, 2011) desenvolveram uma ferramenta instrucional para dar suporte à construção de explicações por parte de estudantes. Esta abordagem estrutura como estudantes articulam sua compreensão para guiar sua construção de significados. Tal abordagem se baseia no modelo argumentativo de Toulmin (1958) e similares esforços (e.g., Clark & Samson, 2007; Erduran, Simon & Osborne, 2004; Sandoval & Millwood, 2005) para tornar explícita a importância de hipóteses que possam ser justificadas com evidências e ideias científicas (Berland & Reiser, 2009). Esse quadro teórico, como apresentado por McNeill (2007), contém três componentes principais:

*Hipótese*⁶: A resposta a uma questão. Nas primeiras investigações realizadas pelos proponentes deste modelo, se tornou claro que a hipótese é o componente mais fácil para os estudantes construírem na sua própria escrita e para identificar nos escritos de outros (McNeill *et al.*, 2006).

Evidência: informação ou dados que suportam a hipótese.

*Justificativa*⁷: uma razão que mostra porque os dados contam como evidência para suportar a hipótese.

Assim, construir uma explicação científica nesta visão envolve gerar hipóteses sobre um fenômeno ao conectar princípios científicos com a evidência disponível e justificar hipóteses usando evidências apropriadas e ideias científicas. McNeill *et al.* (2006) consideram uma boa

⁶ Claim, em inglês.

⁷ Reasoning, em inglês.

explicação científica aquela que usa tanto evidência quanto justificativa de forma apropriada e suficiente para dar suporte à hipótese.

Segundo Wang (2014) o uso desta abordagem possui vantagens referentes ao uso de um modelo amplamente utilizado por pesquisadores em ensino de Ciências. Essas vantagens são que: (1) este é um suporte especialmente desenvolvido para apontar dificuldades dos estudantes com respeito à construção de explicações; (2) os desenhos desse suporte e as relações por trás de seu uso, critérios para avaliar a qualidade da explicação dos estudantes e o contexto e sequência de implementação são explicitamente indicadas; (3) essa abordagem ter sido implementada com um grande grupo de estudantes de educação básica, e ambos aspectos efetivos e inefetivos de sua implementação instrucional têm sido reportados (McNeill *et al.*, 2006; McNeill & Krajcik, 2008), o que permite que outros pesquisadores reproduzam seu delineamento com sucesso.

Grande parte dos trabalhos que alegam tratar do uso de explicações no ensino de ciências utilizam a abordagem de McNeill como referência para a construção de suas atividades (e.g., Beyer & Davis, 2008; Wang, 2014). Wang (2014) destaca que estudos anteriores têm mostrado que explicações de estudantes da educação básica são dominadas por hipóteses (McNeill *et al.*, 2006). Estudantes podem se basear em visões pessoais ou outros conhecimentos para explicarem um fenômeno ao invés de usarem a evidência disponível (McNeill *et al.*, 2006; Sandoval & Millwood, 2005). Alguns estudantes tendem a meramente descrever o que eles observaram ao invés de estabelecer uma abordagem causal para o porque e como um fenômeno aconteceu (Sampson *et al.*, 2011). Alguns sofrem para entender o que qualifica como evidência, enquanto que outros podem retirar dados de uma investigação mas terem dificuldades em determinar se a evidência é apropriada ou suficiente para suportar as hipóteses deles (McNeill *et al.*, 2006; Sandoval & Millwood, 2005). Muitos estudantes oferecem afirmações ambíguas nas quais evidência não é claramente distinguida de inferências (Berland & Reiser, 2009). Alguns outros obstáculos podem ser atribuídos ao não entendimento dos estudantes da relação entre formar hipóteses, coletar dados e estabelecer conclusões durante investigação científica, ou não saberem os componentes essenciais que constituem uma explicação científica (McNeill *et al.*, 2006; Sampson *et al.*, 2011). Esses resultados apontam que não é intuitivo para os alunos produzirem explicações científicas, e que, portanto, eles precisam ser suportados e ensinados a desempenharem essas atividades, restando para a comunidade de pesquisa em ensino de ciências a questão de como fazer isso.

2.2.2. Críticas ao modelo de McNeill

Recentemente, um número notável de intervenções tem abordado o trabalho de professores e alunos com explicações científicas e argumentação (e.g., Bell & Linn, 2000; Clark & Sampson, 2007; Driver, Newton & Osborne, 2000; Erduran *et al.*, 2004; Osborne *et al.*, 2004; Zohar & Nemet, 2002). Enquanto que essas intervenções têm progredido na direção de suportar mudanças orientadas por reformas no ensino de ciências, elas tendem a priorizar argumentação em detrimento de explicação (Braaten & Windschitl, 2011). McNeill e seus colegas (McNeill *et al.*, 2006; McNeill & Krajcik, 2008; McNeill, 2011) descrevem explicação científica como sinônimo de argumentação científica e materiais curriculares desenvolvidos para serem utilizados durante intervenções como esta definem explicações científicas como uma afirmação consistindo de “três componentes: hipótese, evidência e justificativa” (McNeill, 2011; McNeill & Krajcik, 2008), o que caracteriza um enunciado argumentativo em vez de explicativo. McNeill *et al.* (2006) são cuidadosos ao alertar os leitores de que “explicações frequentemente se referem a como ou porque algo aconteceu”, mas essa referência a “como ou porque” é subsequentemente perdida com esta intervenção quando ela muda sua ênfase para o suporte à construção de argumentos pelos alunos. Essas intervenções promovem o suporte muito necessário para que os estudantes tentem justificar uma hipótese por meio do uso de evidências, mas as hipóteses dos estudantes não são explanatórias. Ficam então as questões colocadas por Braaten e Windschitl (2011) de como o campo do ensino de ciências pode capitalizar essas notáveis intervenções de suporte à prática argumentativa dos estudantes enquanto ao mesmo tempo ajuda estudantes a construírem hipóteses explicativas fortes? Como nós podemos ajudar estudantes a se engajarem em teorização assim como na justificação de hipóteses?

2.2.3. ExplanationConstructor de Sandoval

Outra abordagem influente sobre o uso de explicações no ensino de ciências é a que Sandoval e seus colegas (Sandoval, 2003; Sandoval & Millwood, 2005) apresentam. Nela os autores reportam achados de seus estudos utilizando uma intervenção destinada a ajudar estudantes a construírem explicações baseadas em evidências sobre a diversidade biológica de tentilhões⁸ nas ilhas de Galápagos, empregando uma ferramenta chamada ExplanationConstructor. Esta ferramenta consiste de um software por meio do qual são fornecidas características de diferentes espécies desses pássaros – como tamanho das populações e observações como forma de bico – para explicar a diversidade de tentilhões de forma consistente com a teoria da seleção natural. O software utilizado

⁸ Tipos de pássaros que vivem no arquipélago de Galápagos e que foram observados por Charles Darwin enquanto este construía sua teoria da evolução.

propunha questões específicas incentivando estudantes a pensarem sobre causas e a dirigir a atenção dos estudantes para dados relevantes, observações ou aspectos de teorias científicas que são particularmente relevantes para a explicação desse fenômeno. Os pesquisadores concluíram que os estudantes foram bem-sucedidos de modo geral na construção de hipóteses explicativas mas, como estudantes tiveram dificuldade em propor evidência e razões para suportar essas hipóteses, o foco dos pesquisadores permaneceu fixado em aspectos de argumentação que pareceram mais problemáticos para esses estudantes (Braaten & Windschitl, 2011). A crítica de Braaten e Windschitl (2011) [com a qual concordamos] não se refere ao modo como os pesquisadores suportaram o pensamento dos estudantes através de uma intervenção rigorosa e pensativa. Ao invés, a crítica é que pesquisas como esta frequentemente privilegiam a construção de argumentos em vez de explicações científicas como o foco do trabalho de pesquisa.

Neste contexto, Braaten e Windschitl (2011) consideram que uma conversa parece ser necessária no campo sobre como dar suporte para a construção de explicações científicas pode ser útil para o desenvolvimento de ideias explanatórias de estudantes, além de práticas argumentativas. Os autores esperam que dar atenção e guias para argumentação científica e para explicação científica pode ser desenvolvida pela análise de elementos de ambos e ao se identificarem fatores de pensamento e discurso que devem ser suportados para a realização de cada atividade.

2.2.4. Distinguindo Explicações de Argumentos

Osborne e Patterson (2011) identificam uma concepção equivocada na literatura quanto à distinção existente entre explicações científicas e argumentos, apontando trabalhos que dizem incentivar a construção de explicações científicas quando na verdade o foco desses trabalhos se volta para a construção de argumentos (Sandoval, 2003; McNeill *et al.*, 2006; McNeill & Krajcik, 2008). Os autores indicam que a falha em distinguir esses dois conceitos é uma fraqueza no campo. Eles argumentam que dada a ênfase contemporânea no papel e valor de argumentos no ensino de ciência e sua promoção como uma atividade valiosa para as aulas de ciências é vital que, como um campo de atividade intelectual, nós tenhamos clareza sobre os conceitos de argumento e explicação. Além disso, é responsabilidade da comunidade de Ensino de Ciências definir a natureza do constructo que nós desejamos ver se concretizar, ao invés de permitir uma concepção inapropriada que emerge por meio da interpretação e esforço daqueles que trabalham nas avaliações educacionais. Segue então a tentativa feita por Osborne e Patterson (2011) de clarificar e reificar uma distinção necessária, seguida de um resumo dos pontos principais do debate que surgiu a partir

dos artigos de Osborne e Patterson (2011, 2012) e da resposta fornecida por Berland e McNeill (2012).

Osborne e Patterson (2011) fundamentam sua distinção entre explicação e argumento no fato de que uma explicação deve fazer sentido de um fenômeno baseado em outros fatos científicos. Assim, explicações começam com uma afirmação do *explanandum* – o elemento ou fenômeno a ser explicado e que é frequentemente apresentado como uma pergunta. Um elemento definidor de uma explicação é que o fenômeno a ser explicado não está em dúvida. Dessa perspectiva, explicações consistem de um subconjunto de descrições onde novas entidades ou propriedades são trazidas ou inventadas para proporcionar uma sequência causal. Como Wilson e Keil (2002) apontam, tais explicações “funcionam” porque elas geram um sentimento de compreensão crescente para a gênese do fenômeno. De uma perspectiva filosófica, elas são coerentes com o dado conhecido. Dado que uma característica fundamental do ensino de ciências é oferecer explicações bem estabelecidas sobre o mundo material, uma medida de sua qualidade é então a extensão à qual ela alcança esta sensação de compreensão ampliada.

Segundo Osborne e Patterson (2011) em um argumento, no entanto, não há um elemento ou comportamento a ser explicado mas sim uma hipótese a ser justificada se os dados forem consistentes com a explicação proposta. Conseqüentemente, sempre há um grau substancial de desconfiança associada com qualquer argumento e sem esse elemento não haveria a necessidade para o argumento em si. Dessa forma, Osborne e Patterson (2011) concluem que uma hipótese explicativa e um argumento em prol dela são entidades distintas. Explicações são uma tentativa para “tornar claro ou inteligível; clarear de obscuridade ou dificuldade” (Explanation, 1999) e são construídos não a partir de dados e garantias mas sim de modelos e representações da realidade.

Osborne e Patterson (2011) atribuem parte da confusão ao fato de os argumentos serem essenciais para o processo de justificar a validade de qualquer explicação como tal e à existência de múltiplas explicações para qualquer fenômeno dado, com algumas dessas explicações sendo completamente falsas e outras podendo falhar em explicar. Explicações são julgadas, no entanto, por argumentos sobre o grau ao qual elas são coerentes, plausíveis e compreensíveis (Thagard, 2014). Os dois, no entanto, não são a mesma coisa. Ao invés são duas entidades discursivas: a explicação que tenta dar conta de um fenômeno dado e um argumento que examina a questão de a explicação ser válida ou não – isto é, se ela tem sucesso em produzir compreensão e se é melhor que tentativas concorrentes. O foco de qualquer argumento está ao redor de uma explicação, ou seja, na

hipótese de que Explicação A é uma satisfatória/insatisfatória explicação, ou se Explicação A é uma explicação melhor do que Explicação B – e não na explicação em si.

Em resposta a essas considerações de Osborne e Patterson (2011), Berland e McNeill (2012) reconhecem que explicações e argumentos possuem objetivos diferentes e também concordam que é importante para a comunidade de pesquisadores desenvolver maior clareza sobre essas duas práticas. No entanto, elas questionam as implicações dessas distinções quando feitas para estudantes de educação básica, e justificam a sobreposição entre argumentos e explicações ao considerar que estas são práticas científicas complementares através das quais a comunidade científica constrói conhecimento (Berland & Reiser, 2009; Ford, 2008; McNeill, 2011; Sandoval & Millwood, 2005).

Berland e McNeill (2012) argumentam que o conhecimento é produzido quando indivíduos se engajam na construção de significados com o objetivo de desenvolver uma compreensão do fenômeno que está sendo investigado. O objetivo dos trabalhos delas é proporcionar em sala de aula episódios que se assemelhem às discussões que ocorrem entre cientistas na construção do conhecimento, para que os alunos tenham possibilidade de participar deste processo e entender seu funcionamento. Elas defendem que é assim que as explicações científicas são criadas e que portanto é importante propiciar aos alunos a oportunidade de se engajarem nessa atividade de construção de explicações. Dessa forma, elas argumentam que as duas práticas ocorrem simultaneamente enquanto que indivíduos trabalham em conjunto para construir conhecimento – cientistas construindo explicações para um fenômeno argumentam sobre ele usando evidências e a argumentação permite que cientistas melhorem suas explicações. Assim, elas veem as duas práticas de explicação e argumentação como tendo uma relação sinérgica complementar. Baseando-se na abordagem de McNeill *et al.* (2006), elas consideram que a hipótese levantada é uma explicação do fenômeno, enquanto que o texto inteiro é um argumento, incluindo a evidência e justificativa que suporta a afirmação explicativa. Elas se referem a este produto combinado de explicação e argumentação como uma “explicação científica” (Berland & Reiser, 2009; Krajcik, McNeill & Reiser, 2008) – um termo destinado a comunicar que os produtos explicativos dos estudantes devem propiciar uma explicação assim como a evidência e razões para justificar esta explicação.

Osborne e Patterson (2011) afirmam que as distinções entre argumentação e explicação devem ser feitas explícitas para os estudantes: “na falta de um constructo intelectual bem definido os estudantes correm o risco de confundir o objetivo de argumentação e explicação, omitindo elementos vitais de ambos”. No entanto, Berland e McNeill (2012) temem que a mensagem súbita

comunicada pela ênfase nesta distinção é que as práticas são independentes, que indivíduos podem construir explicações sem argumentos. Berland e McNeill (2012) destacam também que esta implicação pode resultar em professores pedindo a estudantes para construírem uma explicação primeiro e então se engajarem em um argumento sobre as explicações deles em seguida, de modo algoritmo em vez de constituir parte de um esforço científico significativo no qual as práticas se suportam mutuamente. Assim, elas propõem enfatizar a sinergia e semelhanças entre as duas práticas, defendendo que o engajamento na prática científica é uma atividade de construção de conhecimento e que argumentação é uma parte chave deste processo. Além disso, subjacente a cada uma dessas práticas está um conjunto comum de compromissos epistêmicos que são centrais à ciência. Um outro argumento de Berland e McNeill (2012) contra separar explicações e argumentos explicitamente em atividades didáticas consiste em dizer que esta separação pode incentivar uma separação artificial por parte dos alunos entre as atividades de explicação e argumentação, tendo como resultado que estudantes realizem as duas atividades de forma mecânica.

Osborne e Patterson (2012) respondem que eles entendem tal preocupação, se dirigindo a ela de duas formas. Primeiro, argumentam que é um erro pensar que o aprendizado de ciência e o fazer científico são essencialmente similares. Seus objetivos são fundamentalmente diferentes. Um, o aprendizado de ciência, está preocupado em desenvolver uma compreensão de um corpo preexistente de conhecimento consensualmente aceito. O outro, o fazer científico, tem o objetivo de criar conhecimento novo. Como resultado, qualquer tipo de prática realizada com propósitos educacionais será apenas “práticas de aproximação” (Gossman & McDonald, 2008) ou pseudopráticas. Tudo isto significa que julgada pelo critério da proximidade da prática científica, construir explicações e argumentos em sala de aula e distinguir seus elementos deixa de ser uma atividade científica autêntica rapidamente. Mas fazer tal julgamento seria um erro categórico já que a questão não é se esta é uma atividade científica autêntica *mas se esta é uma atividade educacional autêntica* – um julgamento para o qual critérios diferentes devem ser aplicados (Osborne & Patterson, 2012).

Berland e McNeill (2012) argumentam também que quando se considera o modo de dar suporte à participação de estudantes em argumentação e explicação, é importante lembrar que essas práticas não ocorrem isoladamente. Ciência envolve fazer perguntas, desenvolver e usar modelos, construir explicações e engajar-se em argumentos por evidências. Por outro lado, alguns pesquisadores sugerem que a compreensão sobre investigação científica de estudantes é fortalecida por um foco na visão ampla da atividade em vez de facetas individuais que a constituem (e.g.,

Lehrer & Schauble, 2006). Uma consideração central que dirige o trabalho delas é que a prática do estudante e a instrução do professor não precisam replicar definições filosóficas da prática científica, ao invés devemos “considerar quais formas de prática promove a maior influência e então entender como dar assistência a estudantes ao começarem a participar” (Lehrer & Schauble, 2006). Esses achados levantam questões quanto à efetividade de se enfatizar as diferenças entre práticas discursivas em vez de suas interconexões, no que diz respeito a proporcionar a estudantes compreensão tanto do cenário global quanto de cada uma dessas práticas individuais (Berland & McNeill, 2012).

Já Osborne e Patterson (2012) defendem que há um valor educacional em separar o ato de construir uma explicação e o ato de se engajar em um argumento. Dessa forma, uma vez que um estudante possa distinguir entre os atos epistêmicos de argumento e explicação, então é mais fácil de criar links entre as atividades e transferir tal compreensão para um novo contexto. No entanto, será difícil para um estudante fazer tal distinção se (a) elas não estiverem claras em suas mentes e nas de seus professores e (b) tais elementos não forem apontados explicitamente. Daí a crença deles de que esta seja uma distinção importante.

Para Osborne e Patterson (2012) engajar estudantes em uma atividade que tem objetivos múltiplos sem um sentido claro dos elementos epistêmicos nos quais ela se baseia não ajudará estudantes a entenderem o processo pelo qual tal conhecimento foi criado. Assim, o argumento dos autores é que há uma distinção – e de que a distinção é importante. A preocupação de Berland e McNeill (2012) reflete, na visão deles, uma falta de resolução entre a função educacional de engajar em argumento e explicação e o propósito científico. É possível reduzir qualquer atividade educacional a algum tipo de expressão mecânica que não possibilite compreensão profunda. Isto não é, no entanto, um argumento contra o valor de tornar elementos da prática distintos mas sim um argumento contra práticas pedagógicas pobres. Além disso, pedir para estudantes construírem explicações é, em si mesma, uma tarefa demandante do ponto de vista criativo e cognitivo. Argumentos se tornam necessários apenas quando há competição entre explicações alternativas que devem ser justapostas e avaliadas. Enquanto que tais exercícios possam ser algorítmicos, nós devemos reconhecer que eles servem a uma função pedagógica importante que diz respeito ao ato de seguir sequências de passos para que conhecimento científico original possa ser alcançado (Osborne & Patterson, 2012).

Por fim, Osborne e Patterson (2012) reiteram a visão deles de que a falta de clareza entre os

dois conceitos se tornou sério em documentos públicos (dos EUA) que guiam currículo e avaliação. Eles usam como exemplo o *College Board standards*, que sugere que uma explicação é “uma afirmação que é composta do seguinte: ao menos uma afirmação, a evidência que é relacionada à afirmação e o raciocínio que torna clara a natureza da relação entre eles” (Collegeboard, 2009). Tal concepção é simplesmente errada, já que esses são elementos de um argumento. Osborne e Patterson (2012) argumentam que tais erros ocorrem por que falta ao campo uma distinção conceitual clara entre práticas explicativas e argumentativas, o que concordamos que seja uma diferenciação importante para pesquisadores em ensino de ciências para que sejam desenvolvidas formas efetivas de oferecer suporte tanto a alunos quanto a professores na construção desses tipos de discursos.

2.3. Explicação

Na literatura de ensino de ciências também é comum ver o termo explicação usado no sentido de promover clarificação para o significado de um termo ou explicação de um raciocínio sobre um problema. Em situações como pedir aos estudantes que “expliquem seu raciocínio” ao resolver um problema, “explicar o significado” de um termo técnico ou “explicar os resultados” de um experimento. Embora este tipo de clarificação seja importante para a comunicação científica, a prática de construção de explicações científicas que respondam a fenômenos naturais envolve mais do que explicações de significados (Braaten & Windschitl, 2011).

Muito do foco em explicações científicas no ensino de ciências consiste em retratar “explicações” sobre o conhecimento produzido por cientistas que professores explicam para estudantes por meio do uso habilidoso de representações, histórias, discussões e analogias (Ogborn *et al.*, 1996; Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2003). No entanto, Braaten e Windschitl (2011) chamam a atenção para uma confusão existente na literatura relacionada ao uso do termo explicação com o sentido de explicação. Eles enfatizam que a confusão criada pelo uso do termo explicação como um sinônimo de clarificação ou comunicação de raciocínio não é meramente semântica. O problema é que o objeto do trabalho intelectual – o que está sendo explicado – é diferente para cada tipo de explicação. Explicações científicas buscam explicar eventos no mundo natural. No entanto, quando professores incentivam estudantes a explicarem o significado de palavras e a comunicarem seus pensamentos sobre procedimentos para chegar até a solução de um problema, o objeto da explicação não é mais o fenômeno natural. Em adição, porque professores solicitam explicações frequentemente em sala de aula, eles podem acreditar que eles estão pedindo por explicações

científicas quando, na verdade, elas podem não ser nada explicativas sobre o trabalho intelectual. Para promover a clareza conceitual necessária para dar suporte a professores de ciências, é importante que nós separemos a importante atividade discursiva do cotidiano de clarificar termos e comunicar raciocínios sobre ideias da específica prática do discurso científico de produzir explicações científicas (Braaten & Windschitl, 2011). Com isso, Braaten e Windschitl defendem que o uso de explicações como atividade discursiva por professores não consiste necessariamente do uso de explicações científicas. Os exemplos aqui apresentados seriam algo mais próximo do que poderia ser chamado de explanação científica, já que as explicações científicas estão mais relacionadas com a interpretação de um fenômeno científico. Retomaremos esta discussão em nossa análise de seminários apresentados por futuros professores, discutindo a ausência de explicações científicas identificada neste contexto.

2.4. Narrativas

Passando a analisar a relação entre explicações e um outro tipo de enunciado, as narrativas, uma primeira questão referente ao uso de narrativas para a comunicação de conhecimento científico diz respeito justamente a determinar se narrativas fazem parte da comunicação de disciplinas científicas como Física e Biologia, ou se seu uso se restringe a disciplinas como a História – onde é evidente e fundamental. Para responder a esta pergunta, é importante notar a visão de que narrativas são importantes quando se precisa explicar eventos únicos, “eventos únicos e irrepetíveis – eventos não recursivos” (Moffett 1983, como citado em Norris *et al.*, 2005). Pode-se supor que explicações narrativas ou histórias narrativas tenham lugar na ciência, embora um espaço limitado a campos onde seja necessário detalhar um conjunto de eventos únicos, ligados contingentemente e causalmente para fazer um fenômeno ou evento particular claro, compreensível ou inteligível. Norris *et al.* (2005) afirmam que se explicações narrativas são solicitadas em ciência, são questões como as seguintes que parecem apontar sua necessidade: como os dinossauros aos quais certo conjunto de fósseis corresponde morreram? Como o monte Everest foi formado? Por que os neandertais que viviam no que agora é a Espanha foram extintos?

Norris *et al.* (2005) analisam a relação existente entre explicações e narrativas na comunicação científica em artigo que apresenta uma abordagem para o que os autores chamam de ‘explicações narrativas’. Os autores definem uma explicação a partir de seu objetivo de resolver um problema, e como lidamos com problemas de diferentes naturezas, explicações servem a um número de funções diferentes. Os autores apresentam quatro funções das explicações: expandir o

significado, fornecendo informação sobre o que é algo; justificar, apresentando o motivo para algo ter ocorrido; descrever, um exemplo são as leis de Kepler do movimento planetário; e atribuir causa, um exemplo são as leis de Newton. Além de apresentar essas funções das explicações, Norris *et al.* (2005) fala também em tipos de explicação, apresentando a explicação científica como sendo um desses tipos e subdividindo-o nas diferentes abordagens propostas pela filosofia das explicações que abordamos na seção 3.3. Depois dessa introdução sobre a literatura das explicações ele passa a propor sua interessante abordagem sobre as explicações narrativas.

Norris *et al.* (2005) apresentam como o núcleo da abordagem deles um conjunto de oito *elementos narrativos* que eles propõem como elementos definidores de narrativas e um conjunto de características específicas das explicações narrativas. Vale a pena ressaltar que eles não consideram que esses elementos constituam um conjunto de condições necessárias e suficientes para narrativas. Ao invés, eles afirmam que existem níveis de narratividade e também argumentam que certos elementos são mais importantes do que outros para determinar o grau de narratividade da mensagem comunicada. Os elementos que eles consideram são: evento-símbolo, narrador, apetite narrativo, tempo passado, estrutura, agência, propósito e leitor.

Explicações narrativas devem naturalmente receber elementos tanto de narrativas e de explicações. De acordo com as pesquisas de Norris *et al.* (2005) os elementos narrativos de evento-símbolo e tempo passado parecem ser centrais. Do lado das explicações, parece que explicações narrativas apresentam sequências causais, mas não apresentam estruturas dedutivas como as que serão abordadas em nosso capítulo de referencial teórico. Em sua pesquisa os autores mostraram que explicações narrativas são possíveis na ciência, embora seja mais provável de encontrá-las em contextos particulares, especialmente naqueles envolvendo a explicação de eventos únicos e não recorrentes.

No entanto, após pesquisas recorrentes os autores afirmam que permanecem céticos com respeito a encontrar muitas narrativas em fontes científicas básicas, mesmo quando essas fontes são em ciências históricas. Está claro que outros gêneros que não as narrativas são prevalentes na ciência. Exposição e argumentação são exemplos deles e são adotados por boas razões na ciência – eles não são apenas efetivos em realizar o raciocínio que conecta métodos científicos e dados a conclusões; eles também possibilitam a precisão de descrição necessária para a repetição, teste e crítica; e eles desempenham a disposição de tentativa e de política de circunspeção necessária para todo o trabalho científico honesto (Norris *et al.*, 2005). Além disso, o papel de narrativas na

explicação científica é limitado quando a ciência busca por generalidade e não está interessada em particularidades, o que é frequente. Assim, os autores concluem que apesar de narrativas possuírem relevância para o ensino de ciências, estudantes também precisam aprender outras formas de raciocínio como interpretação, exposição crítica e argumentação. Eles concluem portanto que existe maior necessidade em desenvolver a habilidade dos estudantes em como lerem bem esses gêneros do que para a inclusão de mais narrativas no ensino de ciências.

Neste trabalho nos baseamos em estudos realizados por Wertsch (2002, 2008) sobre narrativas para elaborar nossa proposta de estrutura organizacional para as explicações científicas, conforme discutiremos no próximo capítulo.

2.5. O que é uma explicação científica?

Retornaremos agora para a questão em torno da definição do que é uma explicação científica. Nas seções anteriores vimos que explicações e argumentos possuem uma relação estreita mas que pesquisadores na área concordam que se tratam de atividades discursivas distintas. Uma das discussões existentes com respeito às explicações corresponde justamente à definição do que se trata de uma explicação. Uma interpretação possível é a de que um enunciado é considerado uma explicação quando é utilizado para transmitir conhecimento para alguém. Mas de acordo com esta definição, se temos uma situação típica de sala de aula onde um professor analisa um experimento científico com um grupo de alunos e produz um enunciado que é compreendido por parte de seus alunos e não o é por outra parte, o enunciado em questão trata-se de uma explicação científica? Ou ele foi uma explicação científica apenas para a parte dos alunos que foi capaz de compreendê-la mas não foi uma explicação para a outra parte dos alunos?

Trabalhos como o de Custódio (2007) seguem por essa linha ao analisar características específicas de explicações produzidas em atividades escolares e algumas de suas distinções com respeito a explicações propostas entre a comunidade científica. Custódio (2007, 2011) destaca a dimensão afetiva das explicações, que faz com que ao receber uma explicação um indivíduo passe a considerar a capacidade da explicação em questão de produzir o sentimento de entendimento, isto é, a satisfação intelectual afetiva que provoca a aceitação de uma explicação.

Nessa perspectiva uma resposta será enquadrada na categoria de explicação se atender, ao menos parcialmente, a expectativa, por parte de quem pergunta (e.g., professor em situação de sala, pesquisador), de uma resposta específica, isto é, aceitável para o tema. Essa definição, que será

explicitada melhor no próximo capítulo, já permite entender algumas dificuldades de ensino, pois as perguntas feitas nas escolas são internas ao professor e ao pesquisador, mas quase sempre externas aos alunos, dificultando a sua interiorização (Custódio, 2007). Retomaremos esta discussão na seção 3.3.2 do capítulo de referencial teórico, durante a discussão da teoria pragmática das explicações produzida por Van Fraassen (1980).

Já Leite e Figueiroa (2004) partem do pressuposto de que a capacidade de explicar Ciências depende de alguns fatores por parte daquele que explica: o conhecimento científico; a concepção de ciências, pois a explicação exige o uso de entidades com características ontológicas; a diferenciação entre o processo de construção de uma explicação científica e o processo de ensino de uma explicação em uma aula de Ciências; o conhecimento das práticas de explicação adotadas nas aulas, incluindo os tipos de explicação; o conhecimento das características das explicações formuladas pelos alunos; e a inter-relação de conceitos, evidências, explicações e modelos teóricos (Gilbert, Boulter & Rutherford, 1998a, 1998b). Dito de outra forma, é necessário que o currículo trate das inter-relações entre explicação científica, planejamento tecnológico, solução de problemas e tomada de decisão sobre temas práticos de importância social (Santos & Mortimer, 2001). Neste trabalho nós adotamos visão compatível com esta e utilizamos como critério para definir se uma explicação é científica ou não se ela está de acordo com os princípios aceitos e compartilhados pela comunidade científica dentro de determinado domínio conceitual. Assim a explicação do professor do exemplo anterior será considerada uma explicação científica para nós, embora em alguns casos ela seja uma explicação científica bem compreendida pelos alunos e com respeito à outra parte dos alunos o mesmo enunciado constitua uma explicação científica mal compreendida.

Todas essas pesquisas apontam a pluralidade de formas com que explicações científicas vem sendo e podem ser abordadas no ensino de ciências e a importância de que novas pesquisas sejam realizadas sobre o tema. Apontam também a complexidade desta questão e a inexistência de uma única definição de explicação científica universalmente aceita, embora hajam alguns consensos sendo construídos. Vale lembrar que se trata de um tema que só passou a ser alvo de um número maior de pesquisas entre pesquisadores no ensino de ciências nas últimas décadas, e que parece haver ainda um longo caminho a ser percorrido por esta discussão.

Entendemos que os resultados dos trabalhos apresentados justificam a realização de estudos futuros sobre o raciocínio de estudantes de diferentes níveis e seu aprendizado ao usar um gênero de explicação em aulas de ciências, e do quão efetiva uma instrução adequada pode ser ao dar suporte a essa aprendizagem.

2.6. Conclusões sobre a revisão bibliográfica

Yeo e Gilbert (2014) resumem que a literatura identifica três formas por meio das quais uma explicação científica pode ser caracterizada; em termos de sua função, forma e nível, todas obtidas a partir de diferentes perspectivas teóricas. Isto chama atenção para os múltiplos aspectos que estudantes precisam atender na construção de explicação científica – a intenção da explicação procurada, a estrutura organizacional e características linguísticas que alinham com diferentes funções de explicação, e o nível esperado da explicação a ser construída. O nível de uma explicação científica pode ser posteriormente distinguido em termos da precisão do modelo utilizado e do nível de abstração e de complexidade da estrutura⁹. O caráter multidimensional da explicação científica indica os diferentes aspectos aos quais um aluno precisa estar atenta durante a construção de uma explanação. Yeo e Gilbert (2014) apontam que as diferentes facetas de uma explicação científica sugerem que explicações científicas construídas por estudantes devem realçar os suportes tanto material (i.e., linguagem, signos) quanto social (i.e., propósitos, objetivos do currículo) envolvidos.

Yeo e Gilbert (2014) apontam algumas competências que estudantes precisam desenvolver para serem capazes de construir uma explicação científica por conta própria: i) identificar entidades inferidas a partir de conceitos físicos presentes em um fenômeno, ii) usar esses esquemas de representação para pensar e raciocinar sobre o fenômeno e iii) usar signos para representar entidades inferidas. Os autores afirmam também que enquanto que questões de qualidade conceitual das explicações que estudantes de ciências adquirem ou desenvolvem continuam por ser muito importante, mais atenção deve ser dada também para o uso dos estudantes de representações na construção real dessas explicações. Já Braaten e Windschitl (2011) criaram uma rubrica – *The Explanation Tool* – com o objetivo de definir os atributos que caracterizam “boas” explicações científicas. Segundo esta abordagem boas explicações são aquelas que (1) empregam grandes teorias científicas, (2) buscam causas teóricas subjacentes para eventos observáveis na natureza e (3) quando apropriado, utilizam modelos matemáticos para descrever padrões nos dados.

Em trabalhos empíricos sobre a construção de explicações de alunos de graduação, Touger, Duresne, Gerace, Hardiman & Mestre (1995) encontraram que as explicações deles eram geralmente intuitivas ou orientadas por fórmulas. Esses tipos de explicações foram diferentes das explicações causais, referentes a leis e baseadas em estatística produzidas pela ciência estabelecida (Kapon *et al.*, 2010). Debates entre filósofos da ciência sobre o que conta como uma explicação

⁹ Consultar Yeo e Gilbert (2014) para descrição mais profunda dessas categorias.

científica (Salmon, 1989) e estudos de linguistas funcionais (e.g., Halliday & Martin, 1993; Veell, 1997) dos elementos linguísticos das explicações científicas sugerem que a construção delas é um esforço complexo e as dificuldades que estudantes encontram podem ser atribuídas a uma falta de clareza do propósito da tarefa solicitada (Yeo & Gilbert, 2014). Os professores aprendem a produzir explicações intuitivamente sem dedicar maior atenção para a estrutura e a produção de explicações, e todos conseguem produzir explicações de alguma forma. O uso de explicações envolve um complexo processo do qual fazem parte uma série de elementos e de objetivos simultaneamente, e aqueles que dominam esta prática são aqueles que são capazes de entender este complexo fenômeno, mesmo que de forma implícita.

Em suas pesquisas Braaten e Windschitl (2011) identificaram que a ferramenta conceitual mais poderosa para melhorar a prática de professores de ciências é promover um modo para os professores distinguirem esforços descritivos e explicativos em ciência. Estudos prévios têm apontado que os jovens não conseguem navegar entre diferentes níveis de explicação e representação para entender conceitos científicos com sucesso (e.g., Gunel, Hand & McDermott, 2009). Isto mostra que não podemos esperar que futuros professores aprendam a produzir explicações científicas por si mesmos; eles precisam de mais prática e de suporte do professor (Yeo & Gilbert, 2014). Com base nisso, acreditamos que o estudo sistemático desses fatores e incentivar que os alunos reflitam sobre tais elementos pode contribuir para a melhora das explicações produzidas por eles.

Pesquisas também apontam que não é imediatamente óbvio o modo de preparar alunos para produzirem explicações científicas (Chambliss *et al.*, 2003). Muitos gêneros se desenvolvem naturalmente enquanto que as pessoas se comunicam umas com as outras para atingir propósitos particulares. De fato, Chapman (1994) demonstrou que padrões genéricos podem emergir na escrita de alunos sem uma instrução explícita sobre o gênero e Freedman (1996) documentou um fenômeno similar entre estudantes universitários que desenvolviam sua habilidade escrita em aulas de ciência social. No entanto, Chapman (1999) levantou questões importantes sobre qual seria a melhor forma de ajudar crianças a aprenderem a escrever gêneros curriculares. Até que ponto os conteúdos e características de um gênero podem ser explicitamente ensinados? Quão efetivo é focar a atenção das crianças em certos elementos genéricos em vez de esperar que as crianças descubram esses elementos por conta própria? Em que grau os modelos textuais são úteis? Como Chapman havia concluído, essas decisões são algumas com as quais professores (e pesquisadores) devem lidar continuamente, pesando cuidadosamente as características dos estudantes e os desafios das tarefas

escritas.

Algumas pesquisas (e.g., Chambliss *et al.*, 2003; Kapon *et al.*, 2010; Yang & Wang, 2014) sugerem o potencial epistêmico de explicação como um gênero curricular da ciência e o poder da instrução para ensinar crianças e jovens a usarem esse gênero. Baseado nesses resultados, nós defendemos o aumento de investigação desse potencial epistêmico e na forma de encorajá-lo melhor. Tanto Connors (1985) quanto Rowan (1988) propuseram que a explicação ainda não é bem entendida enquanto gênero comunicativo, embora abordagens variadas sobre esta atividade tenham sido propostas nas últimas décadas (e.g., Rowan, 1988 e 1990; Salmon, 1989; Ogborn *et al.*, 1996; McNeill *et al.*, 2006). Ao mesmo tempo, pesquisadores do ensino de ciências (e.g., Ogborn *et al.*, 1996; Unsworth, 2001) apontaram a falta de pesquisa no uso de explicação escrita em aulas de ciência, e Lira (2014) destaca a ausência de pesquisas voltadas para a prática discursiva do professor e de pesquisas voltadas para o contexto natural de sala de aula de ciências. Existe a preocupação em investigar como os alunos (de diversos níveis de escolaridade) explicam determinados conceitos científicos em diferentes situações, e quase nada de investigação sobre como os professores estão procedendo ao explicarem em sala de aula, quais são suas estratégias, como envolvem os alunos na sua explicação, como sabem se sua explicação foi adequada e proveitosa para os alunos, e assim por diante. Tendo em vista que a explicação é um dos aspectos centrais do processo de ensino em geral e, de modo enfático, no ensino das ciências, esclarecer tais questionamentos pode contribuir para um ensino e uma aprendizagem de qualidade.

Com relação aos pontos discutidos nesta revisão, este trabalho se propõe a atender a demanda apontada repetidas vezes pela literatura pela realização de mais trabalhos sobre a construção de explicações científicas em contexto escolar. A abordagem aqui proposta trata as explicações de modo independente de outras atividades discursivas (como argumentos e narrativas). Seu objetivo é apresentar explicitamente estruturas com as quais consideramos que tanto professores quanto alunos já estão em contato, embora na maioria dos casos sem tomar consciência disso. Desdobramentos futuros deste trabalho poderão incluir formas de dar suporte a alunos e a futuros professores na tarefa de construir explicações científicas. No entanto, o foco desta dissertação é propor uma forma de entender a estrutura de explicações científicas – produzida a partir dos trabalhos de Wertsch (2008), Ogborn *et al.* (1996) e da filosofia das explicações – e confrontá-la com um conjunto de dados empíricos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nossa proposta consiste em uma abordagem teórica para o estudo do papel que explicações científicas desempenham no modo como compartilhamos conhecimentos científicos em ambientes de educação formal. Nossa abordagem emprega a teoria da ação mediada proposta por James Wertsch (1991) para identificar características das explicações científicas, de forma análoga ao que Wertsch (2008) realizou com respeito ao papel de narrativas no compartilhamento de memórias sobre acontecimentos históricos. Nas seções seguintes apresentaremos a teoria da ação mediada de James Wertsch, os trabalhos que ele realizou referentes a narrativas e como os utilizamos em nossa abordagem das explicações científicas, relacionando estruturas relacionadas à organização de explicações, os quatro momentos que Ogborn *et al.* (1996) propõem estarem relacionados com a produção de explicações fornecidas em ambientes escolares e a modelos de explicações científicas propostos por teóricos da filosofia das explicações.

3.1. Teoria da Ação Mediada

James Wertsch é um psicólogo norte-americano e doutor em educação pela Universidade de Chicago. Ele propôs uma teoria fortemente influenciada pelas ideias de Vygotsky (1991, 2008) sobre o modo como os indivíduos empregam instrumentos e signos na realização de tarefas e resolução de problemas, e pelo modo como os processos mentais superiores são influenciados pelo contexto social no qual os sujeitos estão inseridos. Wertsch (1998) propõe uma abordagem multidisciplinar da ação humana, considerando três pilares fundamentais para que a ação possa ser adequadamente compreendida: os contextos histórico, social e cultural que envolvem a realização desta ação. Para ele “o objetivo básico de uma abordagem sociocultural da mente é criar uma explicação do processo mental humano que reconheça a relação essencial entre estes processos e seu contexto cultural, histórico e institucional” (Wertsch, 1991, p.6, nossa tradução).

Em seus trabalhos o objeto de estudo de Wertsch não são os indivíduos mas sim a ação humana que está sendo realizada. Seu objetivo ao dar prioridade analítica à ação é evitar posturas que considerem que os indivíduos são recipientes passivos de informação do ambiente, assim como visões que tratam o ambiente de forma secundária, servindo meramente como um dispositivo que dispara certos processos de desenvolvimento.

Um conceito central para a compreensão da teoria da ação mediada é o termo mediação. Ele se refere à hipótese de que a ação humana emprega tipicamente meios mediacionais como

ferramentas e linguagem, e que esses meios mediacionais moldam a ação de forma essencial. Dessa forma, ele adota como ferramenta analítica o conjunto indivíduo(s)-agindo-com-meios-mediacionais, para destacar a ênfase dada tanto aos sujeitos envolvidos quanto às ferramentas culturais utilizadas por eles para realizar a ação sobre análise.

A mente é entendida por Wertsch (1991) como sendo algo que se estende além da pele em dois sentidos: por ela frequentemente ser socialmente distribuída e por ela estar conectada com a noção de mediação. De acordo com o primeiro, os termos mente e ação mental podem ser apropriadamente predicados de duplas ou de grupos maiores, assim como de indivíduos. O objetivo desta concepção não é o de retomar a noção de consciência coletiva que já foi rejeitado pela psicologia social, mas sim entender que atividades como memória e raciocínio podem ser distribuídas socialmente. Já de acordo com a segunda característica, funções mentais são vistas como sendo moldadas ou mesmo definidas pelos meios mediacionais que são empregados para a realização de uma tarefa.

Existem três elementos básicos dos escritos de Vygotsky nos quais Wertsch se baseia para elaborar sua abordagem: confiança na análise genética; a afirmação de que funções mentais superiores no indivíduo derivam da vida social; e a afirmação de que a ação humana, tanto no plano social quanto individual, é mediada por ferramentas e signos. Abordaremos esses três tópicos na sequência.

3.1.1. Análise genética

A análise genética é motivada pela consideração de que só é possível entender muitos aspectos das funções mentais se entendermos a origem e as transformações pelas quais elas passaram.

A abordagem de Vygotsky também considera quatro domínios genéticos: filogênese, história sociocultural, ontogênese e microgênese. Cada um desses domínios se refere a uma escala de tempo específica. A filogênese é a mais ampla e se refere ao período evolutivo da espécie humana, remetendo a processos relacionados à origem do *Homo Sapiens*. A história sociocultural se refere ao período de desenvolvimento cultural do ser-humano, ou seja, o período de desenvolvimento de nossa sociedade. A ontogênese se refere a eventos que acontecem ao longo do período de vida um indivíduo e, por fim, a microgênese se refere a habilidades que se desenvolvem em um intervalo de tempo curto, como o período de uma aula ou de alguma experiência que pode durar menos de um segundo. Neste trabalho será apresentada uma análise de episódios de sala de aula referentes ao domínio genético da microgênese.

3.1.2. Origem social das funções mentais no indivíduos

Um importante enunciado com respeito aos trabalhos de Vygotsky é a lei genética geral, que diz que:

“Qualquer função no desenvolvimento cultural da criança aparece duas vezes, ou em dois planos. Primeiro ela aparece no plano social, e então no plano psicológico. Primeiro ela aparece entre pessoas como uma categoria interpsicológica, e então dentro da criança como uma categoria intrapsicológica. Isso é igualmente verdade com relação à atenção voluntária, à memória lógica, à formação de conceitos e ao desenvolvimento da capacidade de fazer escolhas.” (Vygotsky, 1981, p. 163, nossa tradução).

Um exemplo que ilustra esta concepção é a interpretação de Vygotsky (1991) do fenômeno infantil da fala egocêntrica. Esta forma de comunicação consiste em episódios onde crianças em torno de 4 anos de idade enunciam palavras enquanto realizam tarefas diversas. A principal característica desse tipo de comunicação é que os enunciados produzidos pelas crianças não se destinam a outros interlocutores, ocorrendo inclusive quando as crianças estão sozinhas. Piaget (Vygotsky, 1991) interpretou a fala egocêntrica como um fenômeno que reflete o egocentrismo típico de crianças nessa faixa etária, e que seu desaparecimento em estágios posteriores de desenvolvimento consiste da substituição de características específicas de um estágio de desenvolvimento pelas características de um estágio de desenvolvimento mais avançado. A interpretação de Vygotsky diverge desta visão no sentido em que ele considerou a fala egocêntrica uma forma de discurso que serve uma função cognitiva auto-reguladora. De acordo com Vygotsky o aparecimento da fala egocêntrica consiste de um estágio de transição, onde o discurso que inicialmente era externamente orientado e utilizado para interação com outras pessoas passa a ser utilizado, gradativamente, para regular a própria ação e raciocínio do indivíduo. Para Vygotsky seu desaparecimento representa a internalização de uma forma de discurso, passando do plano intermental para ser utilizado no plano intramental, que com o passar do tempo passa a constituir o pensamento verbal que não precisa ser externalizado. A junção do método genético abordado na seção anterior com a noção de origem social das funções mentais no indivíduo discutida nesta seção faz com que uma das chaves para entender formas de mediação semiótica no plano intramental seja analisar suas origens intermentais.

3.1.3. Mediação

Outro princípio central para a teoria da ação mediada envolve o conceito de mediação. Esta teoria se dedica a analisar funções mentais que são tipicamente humanas, aquelas construídas ao longo da história do homem através de sua relação com os outros. Tais funções mentais superiores são mediadas por instrumentos (ou ferramentas técnicas) e signos (ou ferramentas psicológicas). Ao tratar desses termos, é importante destacar que o que distingue ferramentas psicológicas e técnicas não é sua existência física no mundo. Resumidamente, podemos considerar que algo será considerado uma ferramenta técnica quando estiver sendo usado para causar alterações no mundo físico (material), enquanto que algo desempenhará papel de ferramenta psicológica quando estiver causando alterações no plano psicológico de indivíduos (Wertsch, 1991).

Essas definições se baseiam na ideia de mediação. O uso de ferramentas culturais como meio mediacional é visto como fator determinante para a realização de processos mentais como linguagem, pensamento verbal, processos voluntários, ações conscientes e mecanismos intencionais que dependam de processos de aprendizagem. Vygotsky (1991) realizou experimentos que ilustram o princípio por trás deste conceito. Um desses experimentos se trata da análise de crianças jogando o jogo das cores proibidas. Neste jogo é feita uma série de perguntas sobre as cores de objetos que crianças deveriam responder utilizando o nome de cores. De acordo com as regras do jogo, as crianças não podem utilizar o nome de algumas cores nenhuma vez e as demais cores só podem ser utilizadas uma única vez. No estudo em questão as crianças recebiam um conjunto de cartas coloridas e os experimentadores diziam-nas que elas poderiam utilizar essas cartas da forma como quisessem para auxiliá-las a participar do teste. Vygotsky observou que crianças entre cinco e seis anos de idade geralmente não utilizavam o potencial mediacional das cartas, enquanto que crianças mais velhas (em torno de oito anos de idade) utilizavam as cartas de formas variadas. Por exemplo, algumas crianças espalhavam as cartas diante delas e quando respondiam o nome de uma cor elas viravam a carta correspondente à cor em questão, para que elas se lembrassem de não falar o nome daquela cor.

Um dos aspectos que podem ser observados neste exemplo simples é a forma como a inclusão de signos na ação transforma fundamentalmente a ação. Meios mediacionais moldam a realização da ação na qual são empregados, assim como a inclusão das cartas pode transformar a forma como indivíduos participam do jogo das cores proibidas. A abordagem sociocultural propõe que fatores culturais, históricos e institucionais desempenham um papel essencial em ações como essa, onde atos como lembrar passam a serem realizados de forma consideravelmente distinta através do

emprego de meios mediacionais como as cartas coloridas.

Wertsch (1991) propõe que meios mediacionais não sejam vistos como um todo completo e indiferenciado, mas sim em termos de diversos itens que fazem parte de um kit de ferramentas. Dessa forma, ao realizar uma ação mental um sujeito pode ter acesso a um leque de ferramentas culturais distintas que podem ser utilizadas para a realização de tal tarefa. O exemplo do jogo das cores proibidas ilustra como a realização de uma ação pode ser significativamente alterada dependendo das ferramentas das quais o sujeito disponha para realizá-la. Surge então uma questão com respeito ao papel que os meios mediacionais desempenham na realização de uma ação mental. Utilizando como exemplo a multiplicação de dois números compostos por vários algoritmos, se um indivíduo puder (e souber) usar uma calculadora para fazer o cálculo, ainda que seja possível que chegue ao mesmo resultado que seria obtido através do uso de outro instrumento, como lápis e papel, a ação mental realizada é fundamentalmente diferente nos dois casos dependendo de qual seja a ferramenta utilizada. No entanto, isso não quer dizer que a ferramenta sozinha seja capaz de realizar a ação. É necessário um sujeito competente no emprego da ferramenta para que se alcance um resultado satisfatório. É daí que surge a necessidade de incluir na análise tanto o sujeito quanto as ferramentas por ele empregadas (Pereira & Ostermann, 2012). Wertsch (1998) conclui que a tarefa da abordagem sociocultural é explicar as relações entre a ação humana e os contextos histórico, institucional e cultural no qual esta ação ocorre. Ele apresenta então uma série de características básicas da ação mediada, como a existência de uma tensão irreduzível entre agentes e meios mediacionais; a existência de vantagens e limitações que qualquer meio mediacional propicia para qualquer ação; e a transformação da ação ao se inserirem novos meios mediacionais.

Toda ferramenta cultural molda qualquer ação na qual ela seja utilizada, e essa influência pode trazer tanto vantagens quanto limitações para a realização da ação em questão. Um exemplo que Wertsch (1991) utiliza para ilustrar essa questão é a forma como as letras são dispostas em um teclado QWERTY, o teclado mais utilizado em computadores atualmente. Historicamente este teclado foi produzido para atender à seguinte demanda: no final do século XIX a velocidade de datilografia das pessoas que utilizavam máquinas de escrever era maior do que a velocidade dos mecanismos utilizado pelas máquinas de escrever da época para registrarem as letras no papel, o que fazia com que as máquinas emperrassem frequentemente. Para evitar isso, a solução encontrada por Christopher Sholes em 1868 foi produzir um teclado que diminuísse a velocidade de digitação dos usuários. Para isso, foi produzido um teclado onde as teclas correspondentes às letras mais utilizadas na língua inglesa ficassem mais distante da linha principal do teclado, o que aumenta o

tempo necessário para que cada letra seja escrita, além de uma disposição que faz com que a mão esquerda seja utilizada com maior frequência que a mão direita. Na década de 1930 August Dvorak e William Dealey estudaram a fisiologia da digitação e desenvolveram um teclado simplificado com o objetivo de reduzir o tempo de digitação mudando a disposição das teclas com respeito ao teclado QWERTY. O modelo foi bem-sucedido, uma vez que os recordes de digitação atingidos nos últimos anos foram todos alcançados com o teclado Dvorak. No entanto, o teclado QWERTY continua sendo o mais popular e amplamente utilizado em computadores.

Uma análise como esta evidencia o papel desempenhado por fatores históricos e sociais na escolha de ferramentas culturais a serem utilizadas. Uma característica interessante deste caso é que a maioria das pessoas que usa o teclado QWERTY nunca se perguntou o motivo das teclas do teclado serem dispostas de tal forma. Quando são questionadas sobre isso é frequente que as pessoas respondam que a escolha desta sequência de letras tenha sido adotada para maximizar a velocidade de digitação de seus usuários. Isto mostra a forma como ferramentas culturais podem moldar a ação e a aparente invisibilidade dessas forças para os usuários, que podem ser identificadas a partir de uma análise histórica, social e cultural.

3.1.4. Kit de ferramentas

Wertsch (1991) observa a diversidade de meios mediacionais disponíveis para a realização de cada ação e os compreende como elementos diversos que compõem uma espécie de kit de ferramentas. Com esta consideração surgem algumas questões como: qual é a natureza da diversidade de meios mediacionais e porque um, em vez de outro, é empregado para a realização de uma forma particular de ação? Estas questões podem orientar a busca por entender como diferenças históricas, culturais e institucionais influenciam diferentes formas de agir mentalmente. Existem abordagens na psicologia do desenvolvimento que analisam essas questões em termo de indivíduos possuírem ou não certas formas de capacidade mental. Estudos (Donaldson, 1978; Rogoff, 1990; Rogoff & Lave, 1984, como citados em Wertsch, 1991) mostraram que crianças e adultos que aparentavam não possuir uma habilidade particular com base em um teste realizado em determinado contexto apresentaram a habilidade em questão em outros contextos. Isto não significa que qualquer um possa demonstrar qualquer habilidade se forem dadas as condições contextuais adequadas. O que isto diz, no entanto, é que a metáfora da posse – uma metáfora baseada na visão de que indivíduos possuem ou não possuem determinadas habilidades – é reconhecida como severamente limitada. Para evitar esse tipo de confusão, a ideia que Wertsch propõe é que a analogia do kit de ferramentas seja entendida de modo que indivíduos e grupos possam empregar ferramentas

similares de formas diferentes em contextos diferentes.

3.1.5. Trabalhos sobre Narrativas

Passaremos agora a descrever brevemente as pesquisas realizadas por Wertsch sobre memória coletiva, como forma de introduzir as categorias de análise que ele propõe e que constituem o cerne de nossa abordagem das explicações científicas. Uma primeira consideração que deve ser feita é que ao falarmos de memória coletiva, este termo não deve ser interpretado como se o grupo lembrasse da mesma forma que o indivíduo. Há todo um debate sobre o tema e na perspectiva adotada por Wertsch (2002) a memória é vista como sendo distribuída de duas formas: socialmente, através da interação de grupos pequenos; e instrumentalmente, no sentido em que ela envolve tanto pessoas como instrumentos de memória. A distribuição social pode ser observada quando grupos de pessoas se reúnem para lembrar de informações sobre eventos do passado. Os trabalhos de Wertsch focam na distribuição instrumental, que envolve agentes agindo individualmente ou coletivamente e as ferramentas culturais utilizadas por eles. Alguns exemplos dessas ferramentas são a internet, calendários e narrativas. Formas de armazenamento de informação como a escrita provocaram uma importante transformação na memória e na evolução cognitiva humana. Isto não significa que a memória reside nos textos ou nos registros, mas sim que as possibilidades de lembrar de algo sofrem mudanças fundamentais com o emprego desses instrumentos (Wertsch, 2008).

Wertsch (2002) desenvolveu uma abordagem sobre a versão distribuída da memória coletiva ao analisar como esta é fundamentalmente organizada por recursos textuais na forma de narrativas. Sem nos aprofundarmos na complexa discussão sobre o que são narrativas, apresentaremos agora dois importantes elementos da estrutura organizacional das narrativas proposta por Wertsch.

O uso de narrativas está associado a eventos específicos, o que Wertsch chama de *narrativas específicas*. Estes são eventos que ocorreram no passado e que estão situados geograficamente, uma noção amplamente aceita em estudos sobre narrativas. A novidade da proposta de Wertsch é sua defesa de que o estudo da memória coletiva requer o uso de um segundo nível de organização de narrativas, que esteja relacionado com padrões gerais em vez de eventos e atores específicos. Wertsch chama este nível de organização narrativa de *moldes esquemáticos narrativos*. Estes moldes funcionam como estruturas que são aplicadas a narrativas sobre acontecimentos diversos, e representam uma forma particular de organizar narrativas específicas para se contar uma história. Este foco em funções abstratas significa que cada um dos eventos específicos e atores se enquadram na realização de uma função generalizada em uma narrativa. Wertsch procura investigar a noção de

que uma forma generalizada de narrativa pode estar subjacente a uma série de narrativas em uma tradição cultural. Dessa forma, o foco de sua análise deixa de ser uma lista de narrativas específicas para ser um padrão subjacente que é preenchido por várias narrativas específicas. Vale destacar também que estes moldes não constituem um tipo específico de arquétipo universal. Ao invés, eles fazem parte de tradições narrativas particulares que podemos esperar que difiram de um contexto cultural para outro. Outra característica dos meios mediacionais é que eles não estão prontamente disponíveis à nossa consciência. Eles costumam ser usados predominantemente de forma inconsciente (Wertsch, 2008).

Em seus estudos Wertsch (2002, 2008) analisou como o uso de narrativas media a forma como grupos sociais compartilham histórias sobre seu passado – como o modo em que cidadãos russos de diferentes gerações aprenderam a representar acontecimentos sobre a segunda guerra mundial de formas diferentes, embora utilizando o mesmo molde esquemático; ou como jovens americanos aprendem a representar a chegada dos peregrinos à América.

Nas próximas seções apresentaremos *momentos explicativos* propostos por Ogborn *et al.* (1996) e alguns modelos propostos na filosofia das explicações. Relacionaremos os momentos explicativos a objetivos referentes ao uso de explicações específicas e acreditamos que alguns dos modelos da filosofia das explicações possam ser utilizadas como equivalentes explicativos dos moldes esquemáticos narrativos propostos por Wertsch. Após isso articulamos alguns desses modelos com a teoria da ação mediada apresentada até aqui, formulando nossa abordagem referente à estrutura organizacional de explicações científicas.

3.2. Momentos explicativos

Ogborn *et al.* (1996) propõem um referencial para análise de explicações produzidas por professores na sala de aula de ciências desenvolvido a partir de análises de contribuições teóricas das áreas de Educação em Ciências, Linguística, Ciência Cognitiva e de investigações empíricas envolvendo observação de aulas de ciências em escolas secundárias. Essa abordagem será útil em nossa análise para identificar objetivos de atos discursivos realizados por professores durante episódios retirados de aulas de física. A abordagem desenvolvida pelos autores (Ogborn *et al.*, 1996) apresenta dois eixos: a discussão de como explicações científicas podem ser entendidas como análogas a estórias e a discussão de que explicar envolve quatro momentos: a *criação de diferenças* que motivem explicações; a *construção das entidades* da ciência no discurso; a *transformação de*

conhecimento; e a atribuição de significados ao que é material, através de atividades como demonstrações.

Os autores concebem explicações científicas como uma estrutura análoga à das estórias (Martins, Ogborn & Kress, 1999), nas quais protagonistas (elétrons, genes, etc) possuem poderes próprios de ação e interagem em sequências de eventos (uma corrente elétrica flui, proteínas são formadas, etc), produzindo o fenômeno a ser explicado (e.g., uma lâmpada acende, uma célula se desenvolve). Segundo a abordagem proposta por esses autores, as analogias e estórias construídas por professores são utilizadas para transmitir aos alunos uma nova forma de enxergar o mundo, propondo entidades novas para que fenômenos naturais sejam compreendidos. Discutiremos agora brevemente os quatro momentos propostos pelos autores para a construção de explicações científicas.

O primeiro deles é a *criação de diferenças*. Em condições normais explicações surgem a partir de pedidos de informação. No entanto, em ambiente escolar os estudantes costumam ser colocados na posição de quem necessita de informação ou conhecimento que não é determinado pelo estudante, mas por programas curriculares. É importante, portanto, falar de como os professores motivam explicações nas suas salas de aula, um contexto socialmente definido de tal forma a permitir que explicações que não foram solicitadas pelos alunos sejam oferecidas. Em termos de comunicação, isso envolve criar uma “diferença” entre o que o estudante sabe e o que o estudante deve saber (Martins *et al.*, 1999).

O segundo momento proposto consiste na *construção de entidades*. Antes de uma estória acerca de determinado fenômeno poder ser contada na sala de aula, é preciso construir os recursos (conceitos como átomos, ondas, genes, etc), que serão utilizados nesse processo (Martins *et al.*, 1999).

O terceiro momento consiste na *transformação do conhecimento*. Esta transformação está relacionada com a transposição didática realizada pelos professores. Uma maneira de se transformar dado conhecimento é torná-lo uma narrativa e os autores defendem que estórias agem de maneira eficiente como um veículo para o conhecimento, no qual as relações entre personagens e eventos numa narrativa correspondem às relações conceituais a serem entendidas, o que faz com que estas últimas sejam memorizáveis e facilmente lembradas. Os autores apontam que o uso de metáforas e analogias também é crucial na transformação do conhecimento (Martins *et al.*, 1999).

O último momento proposto pelos autores para a construção de explicações científicas é o ato de *atribuir significados ao que é material*. As teorias científicas pretendem descrever o mundo “como ele realmente é”. Contudo, o mundo não se mostra nada parecido com o que essas teorias nos dizem. As teorias científicas falam do mundo “por trás das aparências” e as demonstrações tentam trazer esse mundo subjacente à superfície. A função de uma demonstração é levar os estudantes a ver as coisas como as teorias dizem que elas são. Nesse sentido, demonstrações têm a ver com “passar a ver o mundo de uma certa forma” (Martins *et al.*, 1999).

Todos esses elementos são considerados como ocorrendo simultaneamente e de inúmeras formas durante as explicações realizadas por professores, e não necessariamente na ordem apresentada aqui. Consideramos que os autores, assim como a maior parte da literatura referente ao uso de explicações no ensino de Ciências, se concentram no ensino de elementos relacionados à construção de explicações referentes a fenômenos específicos, como a compreensão de conceitos e leis da natureza. Estas ideias são compatíveis com o que chamamos de *explicações específicas*.

3.3. Modelos da filosofia das explicações

De acordo com nossas leituras, identificamos a filosofia das ciências como a primeira literatura a analisar sistematicamente o papel de explicações na comunicação de conhecimentos científicos, embora tal discussão esteja mais voltada para o objetivo de caracterizar o que são explicações científicas epistemologicamente, na tentativa de definir as características necessárias para que uma explicação seja aceita como científica.

Braaten e Windschitl (2011) acreditam que os trabalhos realizados pelos filósofos das explicações propõem sugestões para preparar tanto professores quanto jovens aprendizes a se engajarem em discursos explicativos que são razoavelmente relacionáveis com práticas epistêmicas autênticas da ciência, uma vez que este corpo de trabalho oferece lentes para analisar como explicações científicas são construídas na ciência e como podem ser desenhados ambientes de aprendizagem para incentivar estudantes a produzirem boas explicações científicas. Alguns dos modelos que foram produzidos durante esta discussão são apresentados a seguir.

Filósofos da ciência têm examinado a estrutura e papel de explicações nas ciências, começando com o trabalho seminal de Hempel e Oppenheim (1948) e abrangendo as subsequentes contribuições de Friedman (1974), Salmon (1984, 1989), Van Fraassen (1980), Kitcher (1989) e outros. Os modelos propostos se interessam em identificar o tipo de raciocínio aceito por cientistas

como plausível para a produção de explicações cientificamente aceitáveis. A literatura sobre o tema é ampla e foge do escopo deste capítulo uma análise detalhada dos modelos propostos ao longo deste debate.

É bom ressaltar que a discussão desenvolvida aqui se concentrou mais com relação a fenômenos dentro do domínio de Física e Química. Explicações sobre temas relacionados à Biologia só ganharam maior destaque nas duas últimas décadas com modelos propostos na filosofia da Biologia como a teoria das explicações causais (Woodward, 2003) e as explicações mecanísticas (Mil, Boerwinkel & Waarlo, 2013) – modelos que não serão aprofundados aqui.

Os modelos apresentados a seguir foram produzidos no âmbito da filosofia. Por consequência disso, muitas das discussões realizadas sobre o tema envolvem termos e jargões específicos desta área do conhecimento. O(s) primeiro(s) modelo(s) que surge(m) identifica(m) o ato de produzir explicações cientificamente válidas com o padrão argumentativo lógico-dedutivo. Assim sendo, um bom conhecimento de conceitos filosóficos se mostra frutífero para uma melhor compreensão desta discussão. Neste texto optamos por oferecer uma visão geral das abordagens que consideramos ter maior relevância para nossa proposta e deixamos de fora as demais abordagens – como os modelos produzidos para explicar fenômenos estatísticos propostos por Hempel (Estatístico-Indutivo) e Salmon (Relevância-Estatística).

Nesta seção é feita uma introdução à discussão realizada entre filósofos das explicações e apresentação de alguns dos principais modelos que foram propostos nesse domínio. Primeiramente apresentamos brevemente o modelo dedutivo-nomológico de Hempel, que foi muito influente historicamente neste domínio, e a teoria pragmática¹⁰ de Van Fraassen. Após essa introdução apresentamos os três tipos de explicações dos quais retiramos as estruturas que consideramos constituir *moldes esquemáticos explicativos*, em analogia aos moldes esquemáticos narrativos propostos por Wertsch (2008), discutidos na seção anterior. São elas: abordagem Mecânico-Causal de Salmon (1989), abordagem de Unificação de Kitcher (1989) e o que a literatura chama de explicações funcionais. Esta seção termina com uma discussão breve sobre a abordagem pragmática de Weber, Van Bouwel e De Vreese (2013), proposta na qual o caráter pragmático consiste em adotar uma postura instrumental diante dos diferentes modelos de explicações propostos por filósofos das explicações, concepção que adotamos neste trabalho.

¹⁰ O viés pragmático desta teoria consiste em considerar que é o contexto no qual uma explicação é solicitada que determina se uma resposta conta como uma explicação satisfatória ou não.

3.3.1. Modelo Dedutivo-Nomológico (D-N)

A literatura sobre explicações (e.g., Salmon, 1989; Kitcher, 1989; Weber *et al.*, 2013) se refere a um artigo seminal de Hempel e Oppenheim (1948) como o ponto de partida para toda a discussão que se seguiu sobre o tema. Este trabalho, e os que o seguiram, possuem notável importância para a consolidação desta subárea da pesquisa em filosofia da ciência. Salmon (1989, p. XIII), por exemplo, afirma que “uma grande preponderância do trabalho filosófico subsequente sobre explicação científica flui diretamente deste ensaio que marcou época” (nossa tradução); Kitcher (1989, p. 410) se refere a este trabalho como o “artigo pioneiro” para esta discussão; e Weber *et al.* (2013, p. IX) se referem a Hempel como sendo o “padrinho deste subdomínio da filosofia da ciência” (nossa tradução).

Para começar a entender as teorias sobre explicação científica, vale introduzir alguns conceitos e terminologias que costumam ser utilizados neste campo. Aquilo que se pretende explicar será chamado de *explanandum*, e a afirmação que se propõe a explicar o *explanandum* será chamada de *explanans*. Com essa terminologia, por tanto, o *explanans* é aquilo que explica o *explanandum*.

Segundo a abordagem de Hempel, as explicações são concebidas como instrumentos através dos quais compreensão do mundo é alcançada. Uma explicação D-N responde ao seguinte tipo de pergunta: por que o fenômeno-explanandum ocorreu? Como Kitcher (1989) aponta, a visão de Hempel sobre explicações possui três características básicas: (i) explicações são argumentos, (ii) a conclusão de uma explicação é uma frase descrevendo o fenômeno a ser explicado e (iii) entre as premissas de uma explicação deve existir ao menos uma lei geral da natureza.

A ideia geral por trás de uma explicação segundo o modelo Dedutivo-Nomológico (D-N) é que, dada a veracidade de todas as afirmações envolvidas, o argumento dedutivo deve propiciar que as premissas expliquem a ocorrência das conclusões. Por tanto, uma explicação Dedutivo-Nomológico de um evento particular é um argumento dedutivo válido cuja conclusão afirma que o evento a ser explicado ocorre. Essa conclusão é conhecida como *sentença-explanandum*. Suas premissas – conhecidas coletivamente como *explanans* – devem incluir a afirmação de ao menos uma lei geral que seja essencial para a validade do argumento. A explicação, portanto, subordina o fato a ser explicado a essas leis, e devido a isso este modelo é chamado também de *covering law model*.

Outro conceito que é importante para compreender as ideias de Hempel é a noção de *expectabilidade nômica*¹¹, que Hempel relaciona com o valor das explicações produzidas. Para entender esse conceito é preciso ter em mente que, para Hempel, produzir explicações e produzir previsões são ações logicamente equivalentes. A distinção entre explicação e previsão, nesta concepção, é que uma previsão é uma explicação que é feita antes do fenômeno em questão acontecer, enquanto que uma explicação é fornecida para justificar a ocorrência de um evento que ocorreu antes da explicação ser fornecida. Tendo esta importante característica em mente, a expectabilidade pode ser entendida como a expectativa que as explicações possibilitam para que, devido à afirmação universal e a sentenças singulares empregadas, o fenômeno em questão se torne deterministicamente previsível e esperado.

Na opinião de Hempel, um dos *insights* que nós tiramos de seus modelos é que explicações não-causais são tão boas como explicações causais: elas podem ter a mesma força explicativa. Portanto, não há razão para exigir que uma boa explicação científica seja causal (Salmon, 1989). Embora este não tenha sido seu objetivo a princípio, Hempel fornece elementos que podem ser utilizados para a construção de uma visão diversificada sobre os tipos de explicação que são utilizadas na ciência e também no seu ensino.

3.3.2. Teoria pragmática da explicação

Já a teoria de Van Fraassen é uma influente teoria pragmática sobre as explicações que surgiu no final da década de 70 e que não se refere apenas às explicações científicas; ela tem a intenção de ser aplicada a qualquer tipo de explicação. Para aqueles que consideram uma visão pragmática de explicação, toda explicação é uma resposta a uma pergunta-por-*porquê* (*why question*) e *o contexto no qual uma explicação é solicitada determina se uma resposta conta como uma explicação satisfatória ou não* (Achinstein, 1983). Dessa forma, a adequação de uma explicação se origina não apenas nos elementos da explicação, mas da questão que provocou a explicação e do contexto no qual a questão foi feita. Van Fraassen (1980) chama os critérios adotados para julgar a pertinência de uma explicação de relações de relevância. Por exemplo, múltiplas pessoas podem discutir um acidente de carro ocorrido em um cruzamento buscando por explicar a ocorrência do acidente. Pessoas que moram próximo do local podem culpar a forma como o cruzamento foi projetado/construído, alguém pode culpar a má sinalização do local pelos acidentes que lá ocorrem e o motorista de um dos carros pode explicar o acidente ao notar sua dificuldade com pontos cegos

¹¹ Nomic expectability, em inglês.

em seu veículo. Para filósofos que seguem uma visão pragmática de explicação cada uma dessas explicações é aceitável contanto que os participantes da conversa determinem que a explicação satisfaz a solicitação deles por uma explicação (Braaten & Windschitl, 2011).

De acordo com Van Fraassen (1980), uma pergunta do tipo “por quê?” é sempre uma questão contrastiva, o que significa que a questão se destina a perguntar por que algo ocorreu em detrimento dos demais acontecimentos possíveis. Dessa forma, a pergunta “por que P ?” pode ser refeita como “por que P ao invés de P^* , P^{**} , ...?”. A forma mais simples de exemplificar este tipo de pergunta é: “por que X ocorreu ao invés de Y ?”. Ao propor seu modelo, Van Fraassen reivindica que “*toda* pergunta não contrastiva que os cientistas fazem são formulações imprecisas de perguntas contrastivas para as quais eles realmente desejam a resposta” (Weber *et al.*, 2013, p. 41, nossa tradução, destaque no original).

Diferenças em classes contrastivas e relações de relevância levam pessoas a proporem explicações diferentes para o mesmo evento que são igualmente válidas e aceitáveis, mas podem soar completamente irrelevante para diferentes participantes em um diálogo (Braaten & Windschitl, 2011). *Em nossa abordagem consideramos que explicações científicas são respostas a perguntas “porque ou como” e que a maioria das perguntas que originam explicações científicas são questões constrativas*, embora, assim como Weber *et al.*, (2013), não façamos a afirmação geral de que todas as explicações científicas devem satisfazer tal condição.

3.3.3. Modelo mecânico-causal (M-C)

O primeiro dos modelos que pretendemos utilizar como molde esquemático para as explicações são as explicações causais. Nossa concepção de explicação causal está baseada no modelo Mecânico-Causal proposto por Salmon (1989). Em uma abordagem que se baseia no trabalho de outros filósofos, como Scriven (1963), Salmon produziu um modelo que destaca o papel de interações causais como justificativa explicativa para a ocorrência de fenômenos. Salmon distingue dois tipos de explicações, explicações etiológicas e explicações constitutivas. O adjetivo etiológico designa aquilo que investiga a causa e a origem de algo (etiologia, 2000). Um bom exemplo de uso do termo é na medicina, onde o termo ‘agente etiológico’ se refere ao agente causador de certa enfermidade (e.g., um vírus, uma bactéria, etc.). Dessa forma, explicações etiológicas utilizam antecedentes causais, isto é: envolvem acontecimentos que ocorreram antes do evento a ser explicado e que o colocam em uma cadeia de interações causais cujo resultado é o fenômeno a ser explicado. Dentro da classificação de Salmon as explicações etiológicas são

destinadas a explicar fatos particulares. As explicações constitutivas explicam regularidades e a forma como tais explicações são construídas difere das explicações que fazem parte do grupo anterior. Esse tipo de explicação emprega mecanismos causais subjacentes ao fenômeno. Um exemplo é explicar variações de temperatura de corpos em termo do grau de agitação de suas partículas constituintes.

Dois conceitos importantes para desenvolver a abordagem de Salmon de modo formal são os conceitos de *processos causais* e *interações causais*. As interações que Salmon considera como sendo causais são aquelas onde alguma característica de certa entidade (objetos, partículas, etc) é alterada após interagir com algum outro agente. De modo geral ela pode ser expressa como segue: dois objetos¹², A e B , possuem as características M e N , respectivamente, em um intervalo de tempo próximo e anterior a um determinado instante t . No instante t considerado há uma interação entre A e B , resultando que no intervalo de tempo imediatamente posterior ao instante t , A e B percam as características M e N e passem a possuir e manter, respectivamente, as características M' e N' . A última exigência é a necessidade de que A e B tivessem mantido M e N após o instante t caso a interação entre ambos não houvesse ocorrido. Se toda essa sequência é respeitada, então podemos estabelecer uma relação causal entre A e B que tenha como resultado que ambos passem a possuir, respectivamente, as características M' e N' . Nestas condições, a interação entre A e B foi uma interação causal. Essa relação pode ser compreendida em analogia com a colisão mecânica de partículas, durante a qual o *momentum* dos objetos envolvidos varia em função da colisão, variação esta que não teria acontecido caso a colisão não tivesse acontecido.

Para explicar o conceito de processos causais, é útil ter em mente a distinção que Salmon faz entre processos causais e pseudo-processos.

- “Um *processo causal* genuíno é um que possa transmitir uma marca; se o processo é modificado em um estágio a modificação persiste além daquele ponto *sem qualquer intervenção adicional*” (Salmon, 1989, p. 108, nossa tradução, destaque no original).
- “Um ‘processo’ que pode ser marcado em um lugar, mas sem ter qualquer modificação persistindo além do ponto no qual a marca é feita, não pode *transmitir* marcas. Tais ‘processos’ são *pseudo-processos*” (Salmon, 1989, p. 109, nossa tradução, destaque original).

¹² A palavra 'objetos' pode assumir diferentes significados aqui; como partículas, corpos, conceitos físicos, etc.

Um dos exemplos que Salmon fornece para esclarecer a ideia está relacionado a fenômenos luminosos. Considere dois feixes monocromáticos de cores distintas se propagando no vácuo, e que ambos se cruzem em um determinado ponto. Antes da intersecção dos feixes serão identificados dois feixes distintos de cores diferentes, no ponto de intersecção será visto uma terceira cor que é resultado da superposição das cores dos dois feixes e na região posterior ao ponto de intersecção dos feixes voltarão a ser vistos dois feixes monocromáticos idênticos aos feixes iniciais. Desse modo, a interação entre os dois feixes consiste do tipo de evento que Salmon caracteriza como pseudo-processo. Nesse caso, a superposição das cores é a marca que não é transmitida pelo pseudo-processo em questão.

Consideremos agora o caso em que um feixe de luz branca se propaga através do vácuo e incide sobre um prisma. Antes do ponto onde o feixe entra em contato com o prisma veremos apenas a existência de um feixe de luz branca. Após a luz entrar no prisma veremos a decomposição da luz branca em feixes de cores distintas que podem ser identificadas após os feixes deixarem o prisma. Este é o tipo de evento que Salmon classifica como processo causal, no qual a marca é a decomposição do feixe de luz branca em uma série de feixes de outras cores, podendo-se facilmente atribuir à interação entre o feixe e o prisma, com o uso de princípios da ótica geométrica, o caráter de processo causal que pode ser utilizado para explicar a decomposição do feixe de luz branca.

Através dos conceitos brevemente discutidos aqui podemos entender como o modelo de Salmon é utilizado para construir explicações científicas. Nas palavras do próprio Salmon, explicar “envolve colocar o *explanandum* em uma rede causal que consiste de relevantes interações causais que ocorreram previamente e processos causais adequados que conectem-nos ao fato-a-ser-explicado” (Salmon 1984, como citado em Weber *et. al.*, 2013, p. 33, nossa tradução).

O modelo de Salmon possui um forte objetivo descritivo. É pertinente observar que Salmon não inclui a mecânica quântica dentro do domínio de validade de seu modelo, chegando a afirmar que seu modelo de explicações é razoavelmente adequado para caracterizar explicações na maioria dos contextos científicos, contanto que nós não nos envolvamos com mecânica quântica. (Salmon 1984, como citado em Weber *et al.*, 2013).

3.3.4. Modelo de Unificação

O segundo dos modelos que pretendemos utilizar como molde esquemático para as explicações são as explicações de Unificação, e nossa concepção de explicação de Unificação está

baseada principalmente nos trabalhos de Kitcher (1989). A teoria proposta por Kitcher foi inspirada em ideias de Michael Friedman (1974) e de certa forma segue a tradição iniciada com o modelo D-N de Hempel e Oppenheim, embora os dois modelos possuam distinções importantes. Friedman propiciou a defesa mais importante da conexão entre explicação e unificação, argumentando que uma teoria da explicação deve mostrar como uma explicação possibilita entendimento. Em tal visão ele sugere que nós alcançamos compreensão do mundo ao reduzir o número de fatos que temos que considerar como brutos. *O termo Unificação pode ser entendido como um conjunto de argumentos que alcança a melhor troca entre minimizar o número de premissas usadas e maximizar o número de conclusões obtidas.* Nas palavras de Kitcher,

entender um fenômeno não é simplesmente uma questão de reduzir as incompreensões fundamentais. Mas sim ver conexões, padrões comuns, no que inicialmente pareciam ser situações distintas. *A ciência avança nossa compreensão da natureza mostrando-nos como derivar descrições de muitos fenômenos, usando os mesmos padrões de derivação de novo e de novo e, ao demonstrar isso, nos ensina como reduzir o número de tipos de fatos que nós temos que aceitar como últimos (ou brutos).* (Kitcher, 1989, p. 432, nossa tradução, destaque no original).

Na visão de Kitcher, unificação é alcançada através da construção de argumentos explicativos, isto é, construindo argumentos através dos quais parte do nosso conhecimento seja derivada de outras partes, e que exemplifiquem um conjunto privilegiado¹³ (Weber *et al.*, 2013). Vemos aqui uma primeira diferença entre a visão de Friedman e Kitcher e a proposta por Hempel. Para a abordagem da unificação, compreender consiste em produzir unificação e não em proporcionar expectabilidade. No debate que se seguiu, uma série de contraexemplos foram propostos apontando limitações da teoria de Hempel, tendo como resultado o fato de que, embora não haja consenso atualmente sobre o tipo de compreensão que os cientistas buscam, a maioria dos filósofos não considera que expectabilidade seja a melhor resposta para esta questão.

Kitcher propõe também uma forma própria de interpretar o significado dos conceitos de lei e de redução¹⁴ que não serão discutidas aqui. Detalharemos um pouco mais sua teoria de explicações científicas como instrumento de unificação. Seja *K* um conjunto de crenças, Kitcher chama

¹³ Em inglês: Privileged Set.

¹⁴ A palavra 'redução' aqui se refere ao ato de reduzir o número de leis e princípios adotados como base para o conhecimento científico.

qualquer conjunto de argumentos cujas premissas e conclusões pertençam a K uma *sistematização* de K . Assim, Unificação é alcançada ao sistematizar nosso conjunto de crenças (Weber *et al.*, 2013). Segundo tal abordagem, todas as explicações são argumentos, mas nem todos os argumentos são explicações. Para distinguir entre argumentos que são também explicações daqueles que são apenas argumentos, Kitcher utiliza a ideia de padrões de argumentação. Um argumento é uma explicação apenas se este exemplifica um padrão de argumentação que pertence a um conjunto privilegiado de padrões de argumentação, e o que torna um padrão de argumentação privilegiado é ter um maior poder de unificação com respeito ao conhecimento K que qualquer outro padrão de argumentação concebível.

Detalhando o que Kitcher considera um padrão argumentativo, dentro desta abordagem tal conceito corresponde a um trio que envolve (i) uma sequência de sentenças esquemáticas¹⁵, (ii) um conjunto de instruções de preenchimento e (iii) uma classificação.

Uma *sequência de sentenças esquemáticas* é uma sequência de sentenças nas quais termos não-lógicos são substituídos por letras representativas¹⁶. Um exemplo é:

- (1) a é um P .
- (2) todos os P s são carecas.
- (3) a é careca.

A *instrução de preenchimento* são indicações de como substituir as letras representativas. Usando a sequência de sentenças esquemáticas fornecida anteriormente, um possível conjunto de instruções de preenchimento seria:

(P1): em (1) a deve ser substituído pelo nome de um indivíduo e P com um predicado arbitrário.

(P2): em (2) P deve ser substituído pelo mesmo predicado que em (1).

(P3): em (3) a deve ser substituído com o mesmo nome de um indivíduo como em (1).

Já uma *classificação* descreve as características inferenciais de uma sequência de sentenças esquemáticas.

(1) e (2) são premissas, (3) é derivado de (1) e (2) por meio de evidências e universais, e então *modus ponens*. Segue abaixo um exemplo (simples) de argumento segundo a estrutura *modus*

¹⁵ Em inglês: Sequence of Schematic Sentences.

¹⁶ Em inglês: Dummy Letters.

ponens:

$P \rightarrow Q$

P

Q

Que pode ser lido como: se x é P então x é Q . x é P , logo x é Q .

Para cada argumento, podemos encontrar muitos padrões dos quais este seja um exemplo. Se um padrão e um argumento são dados, nós sempre podemos decidir se o argumento é um exemplo do padrão: tudo o que temos que fazer é checar se as instruções de preenchimento foram executadas adequadamente.

Através dessas noções, podemos compreender o que constitui uma explicação científica para Kitcher. Uma explicação científica ideal é um argumento que respeita sua estrutura de padrão argumentativo e que possui o maior poder de unificação entre os padrões argumentativos possíveis com relação ao conhecimento que possuímos. Kitcher classifica as explicações que satisfazem tais critérios como explicações bem-sucedidas. Em suas próprias palavras, “explicações bem-sucedidas recebem esse título porque elas pertencem a um conjunto de explicações, o *acervo explicativo*, e a tarefa fundamental de uma teoria da explicação é especificar as condições no acervo explicativo” (Kitcher, 1989, nossa tradução, destaque no original). Intuitivamente, o acervo explicativo associado com ciência em um tempo particular contém aquelas derivações que promovem coletivamente a melhor sistematização de nossas crenças.

Em nossa abordagem não pretendemos focar em tipos de sequências esquemáticas utilizadas nas aulas que observamos. Nosso objetivo é utilizar a ideia de Unificação no sentido em que uma explicação subordina o fenômeno em questão a uma teoria geral, de modo que a consistência da teoria seja utilizada para fornecer o entendimento necessário, em vez de mecanismos causais.

3.3.5. Explicações teleológicas/funcionais

Além das abordagens apresentadas nas seções anteriores, gostaríamos de destacar também um tipo de explicação que não constitui um modelo propriamente dito, mas sim um padrão encontrado com alguma regularidade e muitas vezes criticado como impreciso e inadequado. Na verdade nos referimos a dois tipos de explicações, as teleológicas e as funcionais, mas que são frequentemente

abordadas de forma conjunta. Produzir *uma explicação teleológica consiste em explicar determinada propriedade, característica ou comportamento a partir de uma finalidade a ser alcançada*. Exemplos de explicações teleológicas são: o comportamento intencional consciente dos humanos – fazemos o que fazemos para atingir determinados objetivos; a características de artefatos humanos – que foram desenvolvidos para realizar tarefas específicas; e quando se justificam comportamentos que tenham resultado da seleção natural de modo a alcançar determinado objetivo.

Já as *explicações funcionais estão relacionadas ao uso da função de certa propriedade ou característica para justificar sua existência*. Exemplos de explicações funcionais são: aves possuem penas porque estas aumentam a superfície corporal sem ganho de peso, favorecendo o voo; explicar o tamanho do pescoço da girafa pelo fato de possibilitar que o animal alcance alimento em lugares altos; tigres terem listras para facilitar sua camuflagem; etc (Salmon, 1989).

Embora também tenham seu espaço entre a discussão existente na filosofia das explicações, pode-se dizer que explicações teleológicas e funcionais não estão entre os padrões mais utilizados em ciências como a Física. Sua maior notoriedade concerne ao seu uso em domínios da biologia, sendo também utilizado em trabalhos sobre ensino de biologia (e.g., Mil *et al.*, 2013; Kampourakis & Zogba, 2009). Tal tipo de explicação, no entanto, é criticado, entre outros motivos, por possuir implicações epistêmicas particularmente problemáticas para a ciência – como a crença de que haja uma finalidade para a ocorrência de eventos científicos. Um exemplo de explicação teleológica na Física é o modo como a teoria Aristotélica do movimento é abordada do ponto de vista de um paradigma newtoniano. Neste caso, a queda de um corpo pode ser explicada através da vontade da substância que o constitui de voltar ao seu lugar de origem, no caso o centro da Terra (considerado como sendo também o centro do Universo). Este tipo de animismo (Bachelard, 1996) constitui a principal forma como explicações teleológicas são utilizadas no domínio de disciplinas como a Física.

Este tipo de explicação é incluído em nossa abordagem devido a nossa concepção pragmática de que embora muitas vezes explicações desse tipo possam ser inadequadas, não se pode ignorar a possibilidade de que explicações desse tipo sejam utilizadas em aulas de ciências. Este é o terceiro e último dos tipos de explicações que retiramos da discussão da filosofia das explicações e utilizaremos como moldes esquemáticos explicativos em nossa análise. Descrevemos brevemente a seguir a proposta pragmática de Weber *et al.* (2013), que consiste basicamente do uso instrumental de modelos como os apresentados até agora para propor uma pluralidade de formas de produzir

explicações científicas.

3.3.6. Abordagem pragmática

Entre as abordagens mais recentes sobre as explicações destacamos a proposta pragmática de Weber *et al.* (2013), assim chamada por considerar que modelos como os discutidos até aqui são complementares em vez de excludentes. Tal visão pode ser compreendida em termo de dois conceitos apresentados por Railton (1981), os conceitos de *explicação ideal* e de *explicação real*.

Segundo Railton (1981) uma *explicação ideal* é uma explicação que apresente todo o conhecimento científico disponível sobre o tema. Se aplicarmos esta noção para conceitos envolvidos nos modelos que acabamos de apresentar, isso pode ser interpretado como significando que uma explicação ideal conterà tanto explicações que empreguem leis gerais e que levem à unificação quanto explicações causais que levem à compreensão do fenômeno em questão. Dessa forma, uma explicação ideal relacionaria (1) tanto o micro quanto o macro no que diz respeito ao fenômeno em questão; (2) uma série de argumentos que defendam os instrumentos e técnicas utilizadas para justificar a explicação; (3) demonstrações e deduções matemáticas das equações envolvidas; etc. Assim sendo, podemos notar que a produção de explicações ideais é inviável do ponto de vista prático. O que utilizamos na prática são o que Railton (1981) chama de *explicações reais*. Uma explicação real seria um recorte do conhecimento disponível sobre um tema, e não existiria uma única forma de fazê-lo, muito pelo contrário.

A abordagem de Weber *et al.* (2013) considera então que há diferentes formas de produzir explicações e propõe que, dependendo do contexto em questão, explicações mais próximas de algum dos modelos propostos pelos filósofos das explicações pode ser mais ou menos indicadas para explicar um fenômeno, não havendo uma preferência absoluta entre o padrão proposto por um modelo ou outro, mas sim uma preferência relativa, que é dependente do contexto em questão.

Existem autores na literatura do ensino de ciências que defendem que para explicar um fenômeno natural nós devemos estabelecer uma resposta causal usando propriedades mecánísticas subjacentes ao mundo natural para explicar fenômenos observáveis (Windschitl, 2008; Hammer, Russ, Mikeska & Scherr, 2008; Russ, Scherr, Hammer & Mikeska, 2008), e alguns desses autores (e.g., Hammer *et al.*, 2008; Osborne & Patterson, 2011) consideram que explicações causais são as mais importantes no ensino de ciências. Consideramos esta uma visão limitada uma vez que existem outras disciplinas como física quântica e genética populacional que utilizam raciocínios

estatísticos e probabilísticos para entender fenômenos para os quais pode não haver nenhuma causa ou mecanismo regulador (Braaten & Windschitl, 2011). Braaten e Windschitl (2011) reconhecem que quando pesquisadores do ensino de ciências comunicam razões pelas quais escolhem focar em um tipo específico de explicação científica, o trabalho deles pode gerar tanto uma conceitualização rica e específica para uma disciplina como proporcionar guias para tomada de decisões pedagógicas úteis para outros professores de ciências. No entanto, é importante considerar como o uso de múltiplos modelos de explicação científica juntos incentiva práticas epistêmicas autênticas e raciocínios complexos, o que a fidelidade total a um único modelo de explicação científica tem dificuldade em proporcionar.

A partir dessas questões Braaten e Windschitl (2011) chegam às seguintes conclusões: 1 – está claro tanto a partir da literatura da filosofia da ciência quanto de estudos sobre o trabalho de cientistas que múltiplas formas de explicação científica são empregadas na prática real de cientistas. 2 – para capitalizar sobre práticas epistêmicas e discursivas existentes tanto com respeito a professores quanto a alunos, é necessário criar uma variedade de conexões entre modos cotidianos de raciocínio e comunicação com práticas específicas associadas com explicação científica. Os autores também enfatizam dois modelos de explicação científica frequentemente utilizados: explicações causais e explicações de unificação. Esses dois modelos podem ser particularmente úteis para o ensino de ciências, por possibilitarem que algumas semelhanças de explicação científica inerente à discussão da filosofia da ciência fiquem em primeiro plano apesar das diferenças entre subdisciplinas; porque engajar estudantes na prática de construção de explicações de acordo com esses modelos explicativos incentiva a construção de significados pelos aprendizes; e porque o processo de explorar a transição entre a descrição de “o quê” aconteceu para explicar “como” e “porquê” eventos acontecem ajuda professores a focarem seu currículo científico em ideias e práticas centrais da ciência (Braaten & Windschitl, 2011).

3.4. Nossa abordagem

No presente trabalho nós adotamos uma postura pragmática com relação ao uso dos modelos da filosofia das explicações assim como a abordagem de Weber *et al.* (2013) discutida na seção anterior, e nesta seção articulamos as categorias adaptadas a partir dos trabalhos de Wertsch com: (1) momentos explicativos propostos por Ogborn *et al.* (1996) e (2) tipos de explicação retirados da literatura da filosofia das explicações – Mecânico-Causal, de Unificação e Funcional.

Começamos considerando dois conceitos que Wertsch (2008) considera como elementos estruturais para a construção de narrativas e que adaptamos para a análise de explicações científicas: *explicações específicas* e *moldes esquemáticos explicativos*. O foco principal deste trabalho são os moldes esquemáticos explicativos, que constituem estruturas genéricas empregadas em diferentes explicações – incluindo explicações referentes a domínios físicos distintos – que possuam uma estrutura organizacional comum. Mais uma vez isso não quer dizer que seja considerada a existência de uma única e rígida estrutura que permeia qualquer explicação produzida a cerca de qualquer conteúdo, mas sim afirmar que podem existir alguns padrões estruturais que sejam aplicados a explicações diversas. Desse modo, parte da tarefa de aprender a produzir tanto narrativas quanto explicações científicas consiste no domínio e no uso de modo adequado de tais estruturas organizacionais.

Ao contrário dos moldes esquemáticos explicativos, as explicações específicas estão relacionadas com o que há de particular às explicações produzidas sobre determinado tema, de modo que a ausência dessas estruturas muitas vezes possa ser considerada como um sinal de incompletude ou inadequação da explicação que esteja sendo analisada. Estas explicações específicas correspondem a conceitos, relações matemáticas, substâncias ou elementos (e.g., forças, veículos, campos) envolvidos. Consideramos que os momentos explicativos propostos por Ogborn *et al.* (1996) correspondem a uma boa noção de como professores constroem, e ensinam seus alunos a construir, explicações específicas. Como nossa revisão da literatura sugeriu e veremos durante a análise dos episódios de sala de aula (seção 5.1), é no domínio de explicações específicas que as aulas de física parecem dar maior ênfase, dando menor importância e possivelmente nem reconhecendo os moldes esquemáticos empregados durante as explicações.

Nossa proposta consiste essencialmente em adotar uma postura pragmática que considera a existência de diferentes formas de organizar explicações científicas (i.e., moldes esquemáticos explicativos). Consideramos que modelos propostos pelos filósofos das explicações exemplificam alguns desses moldes, dando ênfase nesse trabalho para o modelo mecânico-causal proposto por Salmon, o modelo de Unificação defendido por Kitcher e para as explicações Funcionais. Em nossa análise apresentaremos e discutiremos exemplos retirados de aulas de Física que correspondem a cada um desses modelos. Esta visão é compatível com a ideia de acervo explicativo que Kitcher (1989) utiliza para se referir a uma reserva de argumentos explicativos fornecidos pela ciência que podem ser utilizados à medida que sejam necessários. Também é compatível com a noção de Weber *et al.* (2013) de que os modelos propostos pelos filósofos das explicações constituem um conjunto

que corresponde a uma “caixa de ferramentas”, que eles consideram serem utilizadas com o objetivo de responder a tipos distintos de perguntas. Todas essas noções são compatíveis entre si e com a ideia do “kit de ferramentas” proposta por Wertsch (1991).

Salmon (1990) também propõe uma relação de complementaridade entre explicações causais e de unificação, e cita a mecânica quântica como um caso onde aparentemente é possível produzir explicações de unificação mas não parece ser possível produzir explicações causais. Ele aponta como tanto explicações causais quanto de unificação podem ser utilizadas para explicar um mesmo fenômeno de forma satisfatória. A conclusão à que ele chega sobre isso é a seguinte:

“Talvez seja fútil tentar explicar o conceito de explicação científica através de uma única definição. Pode ser melhor listar várias virtudes que as teorias explicativas possam possuir e avaliar teorias científicas a partir delas. Algumas teorias podem ter maior pontuação em algumas dimensões e menor em outras, como no caso da quântica. Aqui foram abordadas duas virtudes, uma em termo da unificação e outra em termo dos mecanismos subjacentes, talvez existam outras” (Salmon, 1990, nossa tradução).

Vale a pena ressaltar também nossa intenção de relacionar aquilo que estamos chamando de explicações científicas escolares com os conceitos bakhtinianos de gênero do discurso e linguagem social. Para Bakhtin, uma linguagem social é um discurso particular a um grupo específico da sociedade (profissional, grupo etário, etc) com um dado sistema social em um tempo determinado (Wertsch, 1991).

Quanto aos gêneros do discurso, Bakhtin propõe que “gêneros correspondem a situações típicas da comunicação da fala, temas típicos e, conseqüentemente, também a contatos particulares entre *significados* de palavras e realidade concreta real sob certas circunstâncias típicas” (Bakhtin, 1986, como citado em Wertsch, 1991, p. 61, nossa tradução, destaque no original). Dessa forma, toda comunicação falada envolve o emprego de algum gênero do discurso e nosso repertório de gêneros do discurso é rico, ocorrendo com frequência que sujeitos utilizem e mudem de um gênero para outro com competência sem refletirem conscientemente sobre sua existência. Alguns exemplos de gêneros do discurso são: comandos militares; gêneros cotidianos de agradecimento, despedida e parabenização; conversas informais sobre temas como cotidiano, estética, sociedade, etc; conversas íntimas entre amigos; um gênero para conversas formais e outro para situações informais; etc (Wertsch, 1991).

Na concepção proposta neste trabalho as explicações científicas produzidas em ambiente escolar também constituem um gênero do discurso, com características próprias do contexto da sala de aula – que dizem respeito ao vocabulário utilizado mas não só a isso, incluindo também características específicas desse padrão de interação como a diferença de autoridade entre as vozes do professor e dos alunos, os padrões de interação que são típicos desse tipo de comunicação, etc (Wertsch, 1991).

4. METODOLOGIA

Na revisão da literatura apresentamos um panorama com diferentes formas como o termo explicação científica tem sido abordado em diversas perspectivas teóricas. Aproveitamos a falta de pesquisas voltadas para a construção de explicações científicas na formação de professores para utilizar explicações produzidas neste contexto, com o objetivo de identificar tipos de explicações utilizados por futuros professores. Como já foi apresentado, nossa concepção de explicação científica é a de se tratar de um enunciado que busca responder a uma pergunta referente a porque ou como um fenômeno, experimento ou evento ocorre, com base em conhecimentos científicos. Consideramos também que uma explicação científica deve empregar conhecimentos científicos referentes ao domínio do fato a ser explicado (explicações específicas) e que empregue uma estrutura organizacional (moldes esquemáticos explicativos) que pode variar dependendo de uma série de fatores. Passamos agora a descrever o estudo empírico que desenvolvemos com o objetivo de responder a nossas questões de pesquisa:

- Qual a estrutura organizacional de explicações científicas utilizadas por futuros professores em aulas de Física?
- Que tipos de explicações futuros professores de Física empregam ao aprenderem a ensinar conteúdos relacionados à mecânica?

4.1 Delineamento do estudo

Com respeito ao objetivo de identificar tipos de explicações que professores de Física empregam ao aprenderem a explicar ciência, ao considerar o método genético discutido na seção 3.1.1 reconhecemos que é difícil identificar um momento único onde os professores aprendam a ensinar ciência, uma vez que mesmo quando eram alunos eles já estavam em contato com a futura profissão, começando, assim, a construir sua identidade profissional. No entanto, consideramos que um momento importante desse aprendizado ocorre durante o curso de formação desses professores. Por conta disso, optamos por trabalhar com futuros professores em processo de formação universitária. Uma possibilidade de análise seria selecionar alunos de cursos de licenciatura em Física que atuem na educação básica e acompanhar certa quantidade de aulas ministradas por eles. No entanto, a licenciatura em Física da UFRGS nos oferece uma alternativa prática que consideramos atender a nossas necessidades. Estamos nos referindo às disciplinas de ‘seminários sobre tópicos especiais de Física geral’. Nessas disciplinas – que são divididas em três para abordar,

respectivamente, conteúdos referentes a tópicos de mecânica; termodinâmica, eletromagnetismo e ótica; e física moderna – os alunos são encarregados de apresentar seminários para o professor da disciplina e para seus colegas sobre tópicos preestabelecidos. O objetivo destas atividades é refinar o domínio dos respectivos conteúdos por parte dos alunos, principalmente a precisão no uso de conceitos, e possibilitar momentos de discussão e reflexão por parte dos alunos, com a colaboração do professor, sobre elementos didáticos relacionados ao ensino dos conteúdos abordados em cada uma das disciplinas. Durante a disciplina também costuma ocorrer, eventualmente, algum seminário apresentado pelo professor responsável, onde são discutidos tópicos diversos – como abordagens alternativas às formas tradicionais de comunicação de conhecimentos físicos. Optamos por acompanhar duas turmas da disciplina de ‘seminários sobre tópicos especiais de Física geral 1’, na qual um dos orientadores deste trabalho foi o professor responsável por ministrar a disciplina e o autor atuou através da realização de seu estágio docente.

A disciplina integra o quinto semestre do curso de licenciatura em Física da UFRGS e um de seus objetivos é privilegiar uma abordagem mais conceitual do que matemática dos conteúdos abordados, sem prejuízo do uso de ferramentas de cálculo quando necessário; o objetivo principal dos seminários nos semestres acompanhados foi o de propor aos alunos o exercício de simularem situações onde estivessem ensinando os conteúdos em questão na educação básica. Assim, a principal prática realizada nas aulas da disciplina consistiram na apresentação de seminários por parte dos alunos. As aulas que foram analisadas ocorreram durante os segundos semestres de 2014 e 2015 e na disciplina acompanhada o conteúdo contemplado diz respeito à mecânica. Na primeira vez que a disciplina foi ministrada o professor dividiu os alunos em duplas para determinar os alunos responsáveis pela apresentação dos seminários e uma sequência de tópicos foi dividida entre as duplas, que se alternavam na apresentação dos seminários. No dia de cada apresentação um dos alunos integrantes da dupla designada para apresentar naquele dia era sorteado para apresentar o seminário em questão, e o outro membro da dupla ficava encarregado de apresentar ao término do seminário a resolução de um problema relacionado ao tema abordado naquela aula. Na segunda vez que a disciplina foi ministrada os alunos foram designados a apresentarem os seminários individualmente. As turmas acompanhadas foram composta por seis e nove alunos, respectivamente, do curso noturno de licenciatura em Física da UFRGS, os alunos tinham idade média de 22 anos e boa parte deles já atuava como professor na educação básica. As aulas da disciplina ocorreram duas vezes por semana e com duração de 1 h e 40 min.

Além da apresentação dos seminários por parte dos futuros professores, também foram

realizadas outras atividades pedagógicas. Uma delas consistiu de seminários apresentados pelos professores da disciplina sobre abordagens alternativas às tradicionalmente utilizadas para abordar os conteúdos, enquanto que a outra correspondeu a uma sequência de discussão sobre referenciais não-inerciais com duração de cinco encontros. Esta sequência foi realizada após um conjunto de seminários apresentados pelos futuros professores sobre as leis de Newton e suas aplicações e teve por objetivo alertar os futuros professores para a existência de formas diferentes, porém legítimas, de explicar fenômenos mecânicos.

A intervenção inteira de efeitos não-inerciais durou cinco aulas e chamamos esta atividade de laboratório de explicações. Durante estas aulas os futuros professores foram solicitados a explicarem experimentos cada vez mais complexos de forma conceitual. No primeiro dia, eles foram apresentados a uma explicação padrão para situações como a inclinação da água contida em um recipiente que se move com aceleração constante. Esta primeira aula focou na apresentação, por parte de um dos professores, de explicações newtonianas tipicamente disponibilizadas aos estudantes para explicar fenômenos que ocorrem em referenciais não-inerciais. Na segunda e terceira aula desta sequência foram apresentados experimentos aos alunos e solicitado que eles tentassem explicar os fenômenos observados. Um exemplo de experimento utilizado consistiu em colocar um líquido colorido em um recipiente e fazer o recipiente mover-se com aceleração constante. Além de pedir que os alunos explicassem a inclinação do líquido, os futuros professores foram incentivados a discutir questões conceituais relacionadas aos referenciais não-inerciais, como determinar se ser um referencial inercial é uma propriedade intrínseca a certos referenciais ou se esta característica precisa ser definida com base em comparação com outro referencial. Na quarta aula os professores focaram em apresentar aos estudantes algumas das críticas de Mach à interpretação newtoniana, criticando o conceito de espaço absoluto, por exemplo, e a última aula consistiu em confrontar explicações baseadas em conceitos newtonianos com explicações baseadas no princípio da equivalência de Einstein.

Em outro trabalho (Pereira, Lima Junior & Rodrigues, in press) analisamos algumas das explicações e dos episódios argumentativos desenvolvidos pelos futuros professores durante esta intervenção. Já neste trabalho optamos por analisar os seminários apresentados por esses futuros professores, por se tratarem de atividades mais próximas da prática e do tipo de comunicação predominante na prática docente, apesar de todas as limitações decorrentes de se tratarem de apresentações limitadas pelo tipo de atividade realizada (apresentação de seminários) e por não se tratarem de aulas reais, mas sim de simulações.

4.2. Coleta e análise de dados

Nosso acompanhamento da disciplina consistiu em assistir e filmar a todas as suas aulas ao longo do semestre letivo. Os seminários apresentados pelos futuros professores seguiram a metodologia tradicional, segundo a qual a aula se baseia na exposição verbal da matéria por parte do professor e na realização de exercícios e repetição de conceitos e fórmulas (Libâneo, 1985). Nosso objetivo com respeito a este conjunto de dados empíricos é identificar tipos de explicações empregadas nesse contexto e discutir como as estruturas discutidas no capítulo anterior podem ser identificadas nessas explicações. No entanto, nosso objetivo não é realizar uma análise minuciosa das aulas e identificar todos os casos em que cada tipo de explicação foi utilizado, mas sim trazer alguns exemplos de seus usos e o contexto em que foram aplicadas, discutindo o papel que desempenharam na comunicação de ideias científicas durante as aulas acompanhadas.

Na escolha dos episódios incluídos na análise deste trabalho optamos por selecionar um episódio ilustrativo de cada elemento explicativo discutido aqui. Dessa forma, assistimos à filmagem de todas as aulas e buscamos por um exemplo em que tenha ocorrido a construção de *explicações específicas* e um episódio representativo de cada um dos *moldes esquemáticos explicativos* considerados neste trabalho – causal, funcional e de unificação. A escolha de episódios onde tenha ocorrido explicações específicas foi simples devido à abundância de enunciados onde este elemento tenha sido empregado. Já o uso de moldes esquemáticos explicativos foi mais escasso, com frequência média entre uma e duas explicações fornecidas por aula e sendo frequente a ocorrência de aulas onde nenhuma explicação científica, que satisfaça nossa definição, tenha sido encontrada. Para escolher os episódios tentamos primeiramente identificar explicações onde algum molde esquemático tenha sido empregado e em seguida essas explicações foram classificadas conforme o molde esquemático que melhor correspondeu a suas características. Identificamos também explicações que relacionavam mais de um molde esquemático explicativo e optamos por incluir um episódio desse tipo sob a categoria de *explicação mista*. Na escolha dos episódios descartamos aqueles nos quais o aluno em questão tenha apresentado dificuldade no domínio de conceitos ou tenha focado excessivamente na apresentação de fórmulas e resolução de problemas matemáticos, transcrevendo os demais. Os cinco episódios analisados no próximo capítulo envolveram seminários apresentados em quatro aulas diferentes e por quatro alunos distintos.

Nas transcrições aqui presentes colocamos entre parênteses trechos que representam gestos ou ações realizadas por quem estiver falando e frases entre colchetes significam palavras acrescentadas por nós para completar o significado que a fala busca transmitir. A análise da transcrição de

episódios referentes ao uso de moldes esquemáticos explicativos consistiu em apontar evidências que corroborem nossa classificação dos episódios como representativos dos respectivos moldes esquemáticos, e então utilizar trechos das transcrições para discutir questões referentes a características pedagógicas relacionadas ao uso desses moldes esquemáticos e questões referentes ao contexto investigado. Com este tipo de análise buscamos também realizar uma primeira investigação sobre a extensão em que a estrutura organizacional teórica que propomos pode ser operacionalizada para encontrar correspondência com atividades discursivas reais, ajudando também a responder a nossa segunda questão de pesquisa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentamos a seguir alguns exemplos de episódios que retiramos de nossa análise para discutir o uso de explicações científicas nos seminários que observamos.

5.1. Explicações Específicas

Nossa revisão da literatura aponta que produzir explicações científicas é uma atividade complexa e a abordagem aqui proposta aponta que o desenvolvimento da habilidade de construir explicações científicas envolve o domínio de explicações específicas referentes ao campo de conhecimento em questão e o uso de (ao menos) um molde esquemático explicativo. Devido ao nível de complexidade com que conceitos são ensinados no currículo de Física, temos um cenário onde grande parte da atividade pedagógica gira em torno da compreensão de explicações específicas. O episódio a seguir ilustra a construção de explicações específicas a partir do emprego de dois dos momentos explicativos propostos por Ogborn *et al.* (1996) – construir entidades e atribuir significados.

5.1.1 Construindo entidades e atribuindo significados

Este episódio aconteceu ao longo dos primeiros sete minutos de um seminário sobre movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV), segue sua transcrição:

“O seminário é sobre MRUV, que é Movimento Retilíneo Uniformemente Variado, e a gente vai trabalhar com movimentos em uma única dimensão, uma trajetória em linha reta e com aceleração constante. Uma partícula sofre aceleração quando a velocidade dela varia em módulo ou orientação. Nesse momento a gente vai trabalhar com a variação da velocidade só em módulos, não em orientação. Aceleração mede a taxa de variação da velocidade, e para movimentos ao longo de um eixo a aceleração média é dada (escreve equações da figura 1 no quadro enquanto fala) pela variação da velocidade num determinado intervalo de tempo, onde v é velocidade num instante t e v_0 é a velocidade num instante t_0 .

A aceleração mede quão rápido ou lentamente a velocidade da partícula vai variar. Além da aceleração média a gente tem aceleração instantânea que é a aceleração medida em um instante de tempo, e a gente consegue fazer isso fazendo um intervalo de tempo infinitamente pequeno. Graficamente a gente também mede a aceleração ... graficamente a aceleração em qualquer ponto de um gráfico é a inclinação da reta. (desenha gráfico de v x t representado na figura 2) Aqui

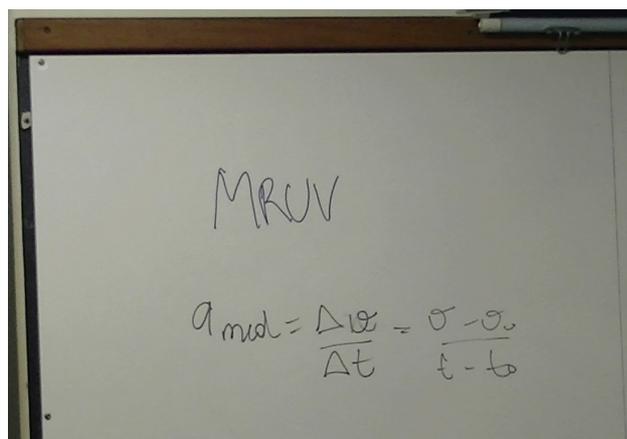
(primeira região do gráfico) a aceleração é positiva, aqui, que era para ser uma reta, não tem inclinação, aí a aceleração é nula e aí aqui, que a inclinação é negativa, a aceleração é negativa.

[...]

(desenha o eixo de posições horizontais da figura 3) Aqui está um eixo para ilustrar como seria uma aceleração. Aí uma aceleração de 2m/s^2 é a mesma coisa que dizer que a cada segundo a velocidade varia 2 m/s . Então aqui (aponta para $t=0\text{s}$ no desenho) era de 2 metros [por segundo] a [velocidade] inicial, depois de um segundo vai ser 4 , depois de mais um vai ser 6 e depois de mais um vai ser 8 . A aceleração, assim como a velocidade e a posição, também é uma grandeza vetorial. E a orientação dela é dada pela orientação da variação de velocidade.

O sinal da aceleração, que aqui (aponta para o desenho da Figura 2) podia ser positivo ou negativo, vai depender do referencial que a gente escolher. (Faz desenhos das figuras 4 (a) e (b)) Se a gente escolher um referencial que aqui (aponta para o desenho da Figura 4 (a)) vai ser positivo, uma aceleração que aponta para a direita vai ser positiva e uma aceleração que aponta para a esquerda vai ser negativa. E não dá para a gente dizer que toda aceleração negativa vai ser uma desaceleração ou freamento, isso a gente tem que levar em consideração com a velocidade, porque nesse caso aqui que ela é negativa, (aponta para o desenho da figura 4 (b)) [se] a gente tiver também uma velocidade apontando para a esquerda, a partícula vai ser acelerada também porque as duas vão ser para a mesma direção, no mesmo sentido”.

Depois disso ela resolveu problemas matemáticos relacionados à aplicação direta de fórmulas e passou a deduzir a equação de Torricelli.



MRUV

$$a_{md} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

Figura 1 – equação da aceleração média.

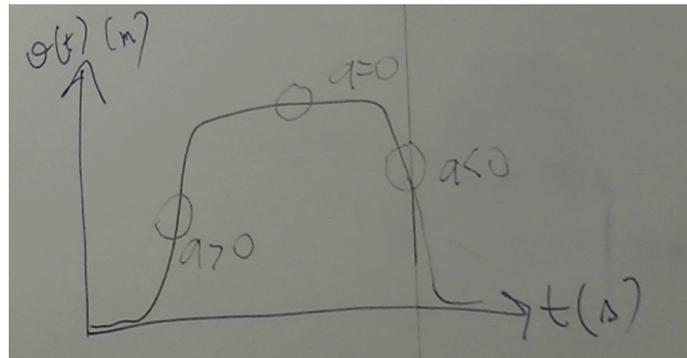


Figura 2 – gráfico de $v \times t$.

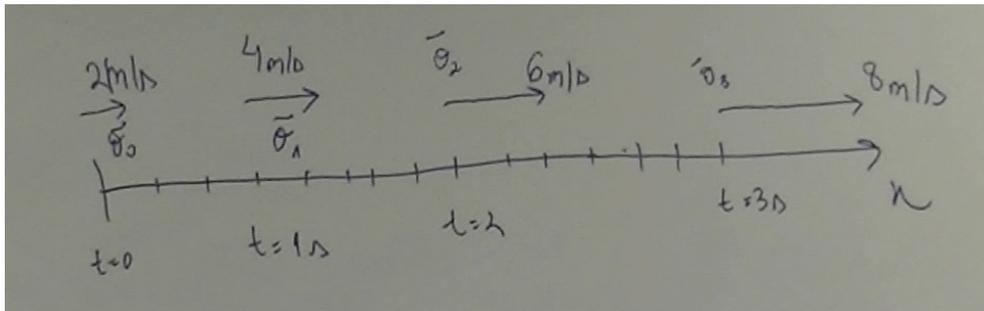
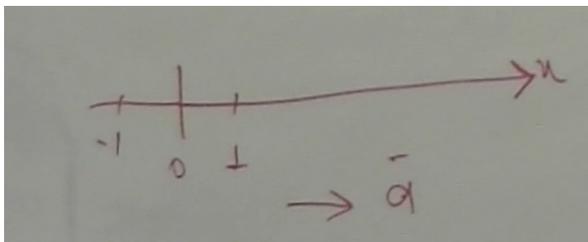
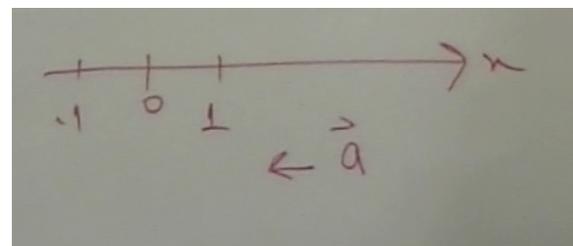


Figura 3 – eixo horizontal que representa a variação da velocidade a cada segundo para um movimento retilíneo uniformemente variado com aceleração igual a 2 m/s^2 .



(a)



(b)

Figura 4 – Movimentos com (a) aceleração no mesmo sentido do eixo e (b) aceleração no sentido contrário ao do eixo.

Análise: este episódio ilustra a forma como conceitos são apresentados tipicamente com a finalidade de serem utilizados em explicações científicas posteriores. O resultado mais importante para nossa análise é que não há nenhuma explicação científica, como a definimos anteriormente, neste episódio. Ao utilizarmos os momentos propostos por Ogborn *et al.* (1996) para analisar as aulas que acompanhamos, identificamos que, neste episódio e nos demais que analisamos, os alunos praticamente não utilizaram o momento de criar diferenças. O momento de transformar

conhecimentos, por meio de metáforas e analogias, também não parece ter sido utilizado neste episódio. Já a construção de entidades e momentos onde são atribuídos significados a situações diversas foram os objetivos mais comumente perseguidos pelos futuros professores durante as aulas. A não ocorrência de enunciados que correspondam ao momento de criar diferenças não foi uma exclusividade deste episódio, ocorrendo em todos os seminários que acompanhamos. Acreditamos que essa ausência pode ser atribuída, ao menos parcialmente, ao contexto no qual os seminários foram apresentados. Como a plateia dos seminários é constituída de pares (consistiu de alunos e de um professor que já possuíam experiência na manipulação dos tópicos das aulas), o ato de criar diferenças parece ter sido desnecessário no contexto observado e isso aparenta ter feito com que tal momento não tenha sido utilizado pelos alunos.

Ao utilizar os momentos propostos por Ogborn *et al.* (1996) para analisar as aulas identificamos que o momento mais utilizado pelos professores foi o de construir entidades (e.g., aceleração e aceleração instantânea) através da apresentação de suas características e de relações matemáticas. Um exemplo desse tipo de enunciado retirado deste episódio é: “*a aceleração mede quão rápido ou lentamente a velocidade da partícula vai variar*”. Nesta sentença está sendo apresentada a definição de aceleração. Em nossa análise discursiva identificamos esse tipo de enunciado como a descrição de um conceito que constitui um dos componentes relacionados às *explicações específicas* referentes ao estudo de movimentos com velocidade variável.

Em enunciados como esse conceitos físicos são definidos e recebem características/propriedades. Outro tipo de momento que pode ser identificado na transcrição acima constituem sentenças que classificamos como representantes tanto do momento de construir entidades como do momento de atribuir significados. Os momentos onde se atribuem significados, onde o professor conduz os alunos a enxergarem o mundo como as teorias científicas dizem que ele é, também se aplicam a resultados matemáticos e a gráficos, como no exemplo retirado da transcrição do episódio anterior onde, ao se referir a um gráfico de velocidade x tempo, a aluna diz que “... *graficamente a aceleração em qualquer ponto de um gráfico é a inclinação da reta*”. Consideramos que este enunciado contenha o momento da construção de entidade por atribuir uma nova característica à entidade aceleração (a de ser igual à inclinação da reta no gráfico), enquanto que se enquadra no momento de construir novos significados por proporcionar uma nova forma de analisar um gráfico, tratando-se por tanto de um exemplo de enunciado híbrido entre esses propósitos. Há outros exemplos no episódio transcrito onde enunciados foram classificados de acordo com as mesmas categorias, e embora não tenham sido identificados momentos de “atribuir

significados” isolados de momentos de “construir entidades” nesse episódio, isto não significa que eles não possam ocorrer separadamente.

Consideramos que tanto nos momentos onde a aluna apresenta características das entidades (aceleração e aceleração instantânea) quanto nos momentos em que atribui significado (a gráficos ou a situações práticas) ela está fornecendo elementos que poderão ser utilizados na construção de explicações científicas no futuro, neste caso no que diz respeito a elementos do kit de ferramentas explicativas que compõem o conjunto de explicações específicas referentes ao fenômeno em questão. No entanto, consideramos que estas são etapas pré-explicativas que não constituem explicações científicas de fato. Etapas pré-explicativas como as que foram apresentadas aqui serem, para nossa surpresa, os episódios mais frequentes nos seminários observados nos levou a concluir que descrições de conceitos – com suas equações matemáticas, propriedades, etc – são o subgênero do discurso mais comumente utilizados no contexto que observamos, enquanto que explicações científicas mais sofisticadas (que empreguem também moldes esquemáticos explicativos) possuem uma participação limitada nas aulas. Por se tratar de uma disciplina de caráter prático da formação de professores, este resultado é oportuno para se discutir concepções de ensino de Física – retomaremos esta discussão no próximo capítulo.

5.2. Moldes Esquemáticos Explicativos

Na filosofia das explicações, abordada em nosso capítulo de referencial teórico, toda a discussão produzida em torno do conceito de explicação científica foi conduzida acerca da ideia de identificar padrões de raciocínio que sejam coerentes com teorias aceitas pela comunidade científica, para identificar a forma como conhecimento científico é produzido a partir de observações científicas. Dessa forma, o objeto dessas explicações científicas são eventos naturais observáveis, com hipótese e teorias sendo utilizadas com o objetivo de ampliarem a compreensão do evento em questão.

Já nas explicações produzidas em aulas de Física percebemos uma inversão do objeto das explicações produzidas. Nessas explicações, que chamamos de *explicações escolares*, o objeto central são teorias produzidas ao longo do processo de construção do conhecimento científico e que são compartilhadas no ambiente escolar, primordialmente através de livros didáticos. Nessas explicações os fenômenos, experimentos ou desenvolvimentos tecnológicos são utilizados para destacar a importância dos conceitos científicos em questão. A construção desses conceitos, do ponto de vista histórico, não é discutida, de modo geral, e é frequente que fique implícito nas

explicações a ideia de desenvolvimento linear do conhecimento científico, do qual controvérsia costumam ser deixadas de fora. Thomas Kuhn (1998) aborda esta questão em termos do uso de manuais para o treinamento de futuros cientistas para a manipulação de paradigmas durante a ciência normal.

Este é o principal contraste entre explicações científicas e explicações escolares. Enquanto que para explicações científicas genuínas, entre cientistas, há geralmente um fenômeno a ser explicado e uma explicação utilizando conceitos científicos para comunicar conhecimento sobre o modo como o fenômeno em questão ocorre, em ambientes escolares professores produzem explicações científicas sobre fenômenos para exemplificar para seus alunos como as teorias apresentadas durante as aulas correspondem a fenômenos e experimentos, muitas vezes conhecidos ou que fazem parte do cotidiano dos alunos.

Apresentamos a seguir alguns exemplos de episódios que retiramos de nossa análise nos quais identificamos algum dos moldes esquemáticos explicativos que propomos. Os episódios foram separados de acordo com o molde identificado e serão apresentados e discutidos a seguir. Os tipos de explicação que serão discutidos aqui são: mecânico/causal, de unificação e funcional – conforme abordados na seção 3.3 deste trabalho.

5.2.1. Explicação Causal

O primeiro episódio que apresentamos aconteceu aproximadamente no meio de um seminário sobre forças de contato. O aluno começou o seminário apresentando a definição de forças de contato, apresentando exemplo onde blocos de massas diferentes, inicialmente em repouso, são colocados em contato sobre um plano horizontal sem atrito, e calculou a força resultante e a aceleração produzida em cada bloco ao se aplicar uma força sobre um deles. O professor da disciplina faz alguns comentários sobre o modo de abordar e apresentar o problema e o aluno passa então a discutir a força normal, novamente a partir de um exemplo, dessa vez identificando as forças atuando sobre um vaso em repouso sobre uma mesa. Depois disso ele começa a discutir a força de atrito e segue abaixo a transcrição de parte da exposição dele.

“... aqui nesses problemas (aponta para os desenhos no quadro dos exemplos discutidos anteriormente na mesma aula) a gente está sempre considerando que tanto a superfície quanto o bloco são perfeitamente lisos, o que não é verdade. Pensando de forma mecânica, se eu tenho algum corpo sobre uma superfície (desenha figura 5 enquanto fala), [pensando] sobre o que tá acontecendo ali ao nível microscópico, aquela superfície não é perfeitamente lisa, ela possui algumas ranhuras, algumas irregularidades, assim como o bloco, a mesma coisa. E o quê que

acontece? Essas ranhuras aqui de certa forma vão criar uma certa dificuldade daquele meu corpo de sair do lugar ou de manter o movimento. Se a gente pensar aqui o contato entre dois pontinhos, ela vai criar uma série de forcinhas entre uma [superfície] e [a] outra, [forças] de contato, só que não tem como analisar uma por uma, o que dá para fazer é uma análise [...] experimental”.

Depois disso ele volta às definições formais dos conceitos físicos e apresenta as equações matemáticas de atrito estático e cinético.

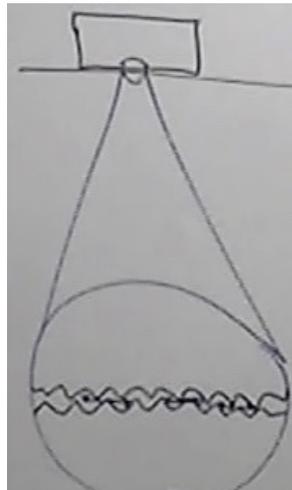


Figura 5 – representação das ranhuras que causam a força de atrito.

Chamamos a atenção neste trecho para a explicação causal utilizada pelo aluno para justificar a existência da força de atrito. Esta explicação pode ser entendida como resposta à seguinte pergunta: por que superfícies apresentam resistência ao deslizarem umas sobre as outras? Vale notar que esta questão não foi enunciada em momento algum pelo aluno, ficando implícita, por tanto, durante todo o episódio. Explicações produzidas em ambiente escolar possuem essa característica de que o seu contexto social permite, e até incentiva, que professores apresentem explicações que não foram previamente solicitadas. Como já foi dito, o que torna esta explicação uma explicação científica é o fato de se tratar da tentativa de explicar um fenômeno natural, que observamos diariamente e infinitas vezes, através do uso de conhecimentos científicos. A explicação fornecida pelo aluno é uma forma comum de abordar a questão e vale a pena notar que o aluno está reproduzindo uma explicação que não foi criada por ele, mas que é compartilhada pela comunidade diretamente relacionada ao ensino deste conceito físico. Uma característica interessante da explicação em questão é o desenho que foi apresentado pelo aluno e que está reproduzido na figura

5. A explicação tipicamente fornecida para esta questão, neste contexto, possui dois elementos que podem ser considerados suas principais explicações específicas. Uma delas se refere às irregularidades das superfícies, como dito pelo aluno, e outra é exatamente o desenho que ele reproduziu. Este é um esboço amplamente utilizado por professores de física e presente em manuais, tanto da educação básica quanto do ensino superior.

Já o molde esquemático explicativo utilizado pelo aluno na construção dessa explicação é o de uma explicação Causal, onde o contato entre as imperfeições das superfícies é utilizado como mecanismo que causa o efeito a ser explicado – por que as superfícies apresentam resistência ao deslizarem umas sobre as outras. Os elementos aqui apresentados nos levam a considerar que a explicação em questão, tanto o conjunto de explicações específicas quanto o molde esquemático explicativo causal, constituem elementos que mediam a forma como conhecimento científico sobre o fenômeno em questão é compartilhado em ambiente escolar.

Embora este se trate de um exemplo do que estamos considerando ser uma explicação científica, vale ressaltar que uma explicação como essa ocorreu poucas vezes ao longo das aulas que observamos.

5.2.2. Explicação de Unificação

Passaremos agora a apresentar um exemplo de explicação segundo o molde esquemático das explicações de unificação, segundo o qual uma explicação é fornecida ao se subordinar o evento a ser explicado a uma teoria ampla. Como já foi dito, identificamos um baixo número de explicações científicas fornecidas pelos alunos que estejam de acordo com nossa definição. No entanto, explicações de unificação foram identificadas com maior frequência entre as explicações científicas observadas do que explicações causais. Vale notar que um dos principais usos de explicações de unificação foi para deduzir conclusões a partir de equações matemáticas.

A seguir temos um episódio retirado de uma aula sobre fluidos. A aluna responsável por apresentar o seminário começou discutindo o conceito de densidade com expressões matemáticas e exemplos conforme o modelo de seminário que apresentamos anteriormente e então passou a falar sobre o conceito de pressão. Ela tenta introduzir o conceito de pressão utilizando um exemplo que envolve um fluido. O exemplo que ela escolhe é o célebre experimento onde se fazem furos de mesmo tamanho em diferentes alturas de uma garrafa cheia de água. O problema é que ela está se referindo à equação que relaciona pressão com força e área – $\text{pressão} = \text{força}/\text{área}$ – e o exemplo escolhido por ela não é pertinente para discutir tal relação matemática. O professor da disciplina intervém e segue o episódio abaixo.

Professor: “... a intenção é muito boa mas pensar em furos com diferentes alturas na garrafa não me ajuda a entender muito a relação direta que tu quer mostrar com a fórmula e com a análise dimensional que tu vai mostrar adiante. Talvez seja mais conveniente tu escolher um exemplo que seja uma tradução direta dessa relação aí. Tem vários [exemplos], *um clássico é aquele dos caras caminhando na neve e usam uns calçados que parecem umas raquetes de tênis. O que eles tão fazendo na verdade é aumentando a área de contato dos pés com a neve porque uma vez aumentando a área diminui a pressão daí eles não afundam tanto.*”

Consideramos que o trecho em itálico é um exemplo de explicação científica que segue a estrutura proposta por Kitcher (1989). A lei geral empregada é exatamente a lei expressa pela fórmula que a aluna pretendia abordar: $P=F/A$, e as premissas adotadas, embora algumas delas estejam implícitas, são: a força exercida por uma pessoa caminhando sobre o solo é igual a seu peso, o peso do indivíduo não varia para este exemplo, quando o indivíduo caminha esta força é aplicada sobre o solo através da área de contato entre o calçado que ele usa e o solo, o calçado que é utilizado para caminhar na neve tem uma área maior que um calçado normal, portanto a pressão que ele exerce sobre o solo é menor que a pressão exercida ao se utilizar um calçado de menor área. Aqui está implícito também a relação de proporcionalidade entre a pressão exercida sobre a neve e o quanto o pé afunda na neve.

O que caracteriza esta explicação como sendo uma explicação de unificação é o ato de subordinar o evento a ser explicado – por que as pessoas usam calçados que parecem com raquetes de tênis para caminhar no gelo? – a uma teoria geral que não é questionada nesse contexto – a relação entre grandezas físicas expressa pela equação matemática que a aluna pretende abordar. Este exemplo ilustra bem o modo como explicações científicas são utilizadas em aulas de física com frequência: não costuma ser proposto um problema para que os alunos, com a possível colaboração do professor, construam uma explicação para o fenômeno. Ao invés disso, nos poucos casos em que explicações científicas são utilizadas seu emprego está relacionado a contextualizar e exemplificar a aplicação ou validade de conceitos e relações matemáticas, como ilustrado neste trecho.

Aqui há também o uso de uma analogia por parte do professor para comparar a forma do calçado utilizado pelas pessoas que caminham no gelo com a forma de uma raquete de tênis, embora a analogia em questão tenha sido utilizada mais com a intenção de contribuir para o reconhecimento do evento a ser explicado – identificar forma do calçado – do que para explicá-lo.

5.2.3. Explicação funcional

O último molde esquemático de explicações científicas que gostaríamos de abordar neste trabalho corresponde às explicações funcionais. A afirmação abaixo ocorreu na mesma aula sobre forças de contato na qual ocorreu o episódio sobre explicações causais apresentado anteriormente. No momento da aula em questão o aluno coloca no quadro as equações de atrito estático e dinâmico e questiona por que o coeficiente de atrito estático não possui um valor exato, podendo ser menor ou igual a um valor limite. Ele resolve um exercício numérico onde calcula o valor máximo do atrito estático em determinada situação e então diz:

“... então esse atrito estático, o que ele quer fazer é manter a minha força resultante nula. Então o fato dele ser menor ou igual a 3 N significa que ele vai ter o valor necessário para que a minha força se torne nula”.

Depois de dizer isso ele passa a desenhar o gráfico que relaciona o valor da força de atrito com uma força aplicada sobre um corpo e com direção paralela à superfície.

Essas explicações foram oferecidas em resposta a perguntas sobre o caráter variável da força de atrito estático. Neste trecho curto identificamos os dois tipos de explicações que foram classificadas como explicações funcionais. A primeira oração consiste de uma explicação teleológica, na qual o efeito produzido pela força de atrito é apresentado como reflexo de sua vontade. Já a segunda oração constitui uma explicação funcional, na qual o valor da força de atrito é justificado a partir da sua função – aproximar o valor da força resultante de zero.

O exemplo ilustra que este é um tipo de explicação que faz parte do acervo explicativo de futuros professores, embora seja aquele que goza de menor prestígio dentre os moldes esquemáticos explicativos abordados neste trabalho. O formalismo da Física busca evitar o uso de explicações deste tipo por ele favorecer concepções epistemológicas que vão de encontro ao caráter objetivo da ciência (i.e., a ideia de que há uma finalidade adjacente à ocorrência de eventos físicos).

5.2.4. Explicação Mista

Acabamos de apresentar exemplos que ilustram o uso do que consideramos ser os três principais moldes esquemáticos explicativos utilizados no ensino de Física. Assim como Salmon (1990), consideramos a possibilidade de que estas formas de estruturar explicações não sejam só compatíveis como também complementares. O exemplo a seguir ilustra uma situação onde uma explicação causal e uma explicação de unificação foram utilizadas em conjunto. O episódio também aconteceu durante uma explanação sobre a força de atrito em um seminário sobre forças de contato,

sendo retirado de uma das aulas realizadas na segunda vez que a disciplina foi acompanhada. Durante a aula o aluno em questão explanou sobre a força normal, em seguida sobre a força de atrito – distinguindo atrito estático de atrito dinâmico – e realizou dois experimentos referentes à força de atrito. No fim do seminário ele passa a resolver alguns exercícios numéricos, e durante a resolução de um desses exercícios – referente ao movimento de uma pessoa caminhando sobre uma superfície plana – o aluno demonstra saber que neste caso o sentido da força de atrito é o mesmo sentido do movimento, embora demonstre também não entender bem a razão desse fato. Ocorre então o episódio abaixo.

Aluno: é difícil para mim, fica abstrato demais acreditar que a força de atrito empurra a gente para frente.

Professor: Sério?

Aluno: Sério. Eu acho que é o músculo da gente que faz isso.

Professor: sim, mas justamente, o músculo faz com que a gente pressione o chão para trás.

Aluno: para trás, e o músculo faz com que a gente pressione para frente, vá para frente. Eu não vejo...

Professor: Sim, mas para a gente conseguir fazer esse torque aí como tu faz é preciso se apoiar no chão. Se tu fizesse esse movimento numa pista de gelo tu não vai sair do lugar, porque o teu pé vai escorregar para trás. Entende?

Aluno: Ah é, pista de gelo. É que eu não subo na pista de gelo [todos riem].

Professor: Ainda vai haver o mesmo movimento muscular, só que quando tu for fazer esse torque na hora de apoiar o pé no chão teu pé vai resvalar.

Aluno: Sim.

Professor: então tu precisa do atrito no sentido do movimento para que tu consiga exercer o torque com essa força muscular.

A primeira característica que reparamos neste episódio diz respeito ao *explanandum* da explicação fornecida, que serve também para ilustrar a distinção entre o que estamos chamando de explicações científicas e os demais tipos de explicações – especialmente as explicações específicas. Uma possível explicação científica que poderia ser construída com respeito a este fenômeno é uma resposta à seguinte pergunta: por que o pé de uma pessoa que caminha sobre uma superfície plana não desliza? Essa questão poderia ser respondida de inúmeras formas e vamos apresentar a seguir duas delas, uma segundo o tipo de explicação científica de unificação e outra segundo o tipo de

explicação científica causal. A explicação de unificação, que é mais comum e difundida em aulas de física para este caso, diria que há uma força de atrito que surge sempre que duas superfícies em contato apresentam a tendência a deslizar uma sobre a outra, e que quando uma pessoa está caminhando sem deslizar isso significa que a força de atrito anula o efeito das demais forças horizontais atuando sobre o pé da pessoa, o que proporciona a estabilidade que estava sobre questão. A explicação causal recorreria à consideração das irregularidades existentes entre as superfícies, o que dificulta o movimento entre elas – como apresentado anteriormente em nossa ilustração sobre o uso de explicações causais.

No entanto, esta pergunta não representa exatamente a dúvida do aluno. A dúvida do aluno poderia ser formulada mais adequadamente da seguinte forma: por que a teoria Física sobre a força de atrito diz que a força aponta na mesma direção do movimento de alguém que esteja caminhando? Esta é uma questão pertinente para alguém que esteja aprendendo uma certa forma de interpretar fenômenos da natureza. A primeira das perguntas propostas exemplifica o tipo de pergunta que origina o que estamos chamando de explicação científica, enquanto que a segunda pergunta pertence ao tipo de pergunta que origina uma explicação técnica a respeito do uso adequado da teoria. No entanto, em nossas observações e em nossa experiência com o ensino de Física vemos que o uso de explicações produzidas para responder a questões do segundo tipo é muito mais frequente que o de explicações científicas relacionadas a perguntas como a proposta no parágrafo anterior. Enquanto que esta seja uma prática bem estabelecida e que certamente tem suas vantagens como prática educativa, questionamos sua preferência, sobretudo na formação de professores para a educação básica. Aprofundaremos esta discussão em nossas considerações finais.

Deixamos de analisar a pergunta feita pelo aluno e passaremos agora a analisar a resposta fornecida pelo professor. No início ele utiliza elementos de uma explicação causal, ao descrever o movimento produzido em uma situação-limite onde o atrito seria muito baixo – caminhada sobre uma pista de gelo – e se valendo de um tipo particular de analogia, no qual duas situações semelhantes, mas que possuam certa característica distinta, são comparadas para que se identifique o papel da característica que as diferencia. No entanto, neste episódio a explicação causal só é utilizada até o momento em que se identifica o sentido da tendência de deslizamento entre as superfícies. A partir desse ponto, o professor automaticamente inclui (implicitamente) toda a explicação de unificação utilizada para justificar a existência da força de atrito e a partir disso concluir que o sentido da força de atrito de fato é o mesmo sentido do movimento. Este é um exemplo de *explicação mista*, que emprega mais de um molde esquemático explicativo de modo

complementar.

Em nossas observações percebemos que, de modo geral, explicações de unificação estão mais associadas ao domínio do conteúdo almejado pelos professores durante as aulas e que explicações causais servem ao propósito de apresentar um mecanismo que justifica o emprego das explicações de unificação. Dessa forma, ao menos no contexto desta disciplina de formação de professores de Física e com respeito ao conteúdo que abordamos, explicações de unificação parecem gozar de maior prestígio do que os demais moldes esquemáticos explicativos; enquanto que no outro extremo do grau de privilegiação estariam as explicações funcionais, com as explicações causais entre elas. Vale notar que é possível que a relação de preferência por explicações de unificação ou causais varie conforme o conteúdo e o contexto em questão, enquanto que explicações funcionais em geral não são bem-aceitas em ambientes escolares, constituindo uma estratégia disponível aos professores que, quando utilizada, possui caráter informal e costuma estar associada ao papel didático de fornecer elementos para a compreensão de explicações causais ou de unificação posteriormente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Discutimos agora os principais resultados e limitações deste trabalho, e suas implicações para o ensino de Física. Uma conclusão à qual chegamos tanto a partir de nossa revisão da literatura quanto de nossa análise diz respeito ao modo como o ensino tradicional foca primordialmente na construção de conceitos e no domínio de explicações específicas, deixando pouco espaço para práticas explicativas mais completas. Como observado por Custódio (2007), em sua prática de sala de aula professores direcionam as explicações criadas em sala de modo a serem compatíveis com as exigências previstas no currículo. Porém, estas exigências estão relacionadas a formas de avaliação destinadas a verificar a aprendizagem tanto dentro do mesmo nível de escolaridade quanto como condição de progressão de nível. Decorre daí a polarização em uma restrita gama de explicações com a finalidade de proporcionar eficiência em processos avaliativos. Como o autor destaca, os exames vestibulares possuem um conjunto muito restrito de tipos de questões, dando lugar apenas a certos padrões de explicações. Seguindo esta tendência, a tarefa do professor se resume a treinar os alunos a lembrarem uma certa classe de explicações e aplicá-las em situações padrões. Este tipo de ensino não proporciona aos alunos oportunidade para construir e debaterem sobre questões referentes a fenômenos naturais, propiciando uma compreensão limitada de importantes elementos epistêmicos relacionados à atividade científica.

Em nossa análise acreditamos que aspectos relacionados à apropriação adequada de conceitos refletem no baixo número de explicações científicas identificadas nos seminários que acompanhamos. Estas conclusões também estão de acordo com aqueles que consideram que o currículo atual de física e as aulas tradicionais propagam visões limitadas sobre a atividade científica e que atividades como o laboratório de explicações (Pereira *et al.*, in press) possibilitem a realização de atividades explicativas mais autênticas na formação de professores. Acreditamos que este seja um tema que precisa ser mais explorado pela comunidade de pesquisadores em ensino de ciências, especialmente a brasileira, uma vez que apesar da relevância da explicação para a ciência, e por extensão para as atividades do processo de ensino de ciências, o estudo de explicações ainda não constitui um campo de pesquisa estabelecido entre os pesquisadores da área do ensino das ciências no Brasil.

Acreditamos que estudos futuros sobre explicações científicas podem originar uma nova forma de problematizar elementos do ensino de Física referentes à prática de sala de aula, analisando sobretudo o caráter epistêmico das atividades realizadas. Existem diversas estratégias e

métodos que focam em formas de aprendizagem ativa e que constituem alternativas ao ensino tradicional, como: *One-Minute Paper* (Stead, 2005), *Think-Pair-Share* (Lyman, 1981), *Problem-Based Learning* (Barrows, 1996), Ensino por Investigação (Carvalho, 2013) e *Team-Based Learning* (Michaelson, Knight & Fink, 2004). Entre esses métodos o *Peer Instruction* (Mazur, 1996) e o *Just-in-Time Teaching* (Novak, Patterson, Gavrín & Christian, 1999) têm sido abordados em trabalhos nacionais recentemente (Araujo; Mazur, 2013; Müller, Brandão, Araujo & Veit, 2012; Oliveira; Veit; Araujo, 2015), e uma abordagem como a proposta aqui pode ser utilizada em trabalhos futuros para analisar a forma como metodologias como essas influenciam a construção de explicações científicas em aulas de Física.

A origem de todas as explicações científicas analisadas neste trabalho pode ser rastreada – principalmente – a livros didáticos, o que aponta a existência de uma tradição discursiva que emprega explicações científicas como (ao menos um dos) meios mediacionais responsáveis pelo compartilhamento de conhecimento científico. A estrutura organizacional aqui proposta pode fornecer também indícios sobre a forma como estudantes aprendem a produzir explicações em contexto escolar, através não somente do domínio de explicações específicas, mas também por meio do emprego de moldes esquemáticos explicativos. Esta conclusão nos ajuda a responder nossa questão de pesquisa referente à estrutura organizacional de explicações científicas utilizadas por futuros professores. Estruturas como essas já foram abordadas na literatura em trabalhos anteriores, como apontado em nossa revisão da literatura. No entanto, a maioria dos trabalhos foca no domínio e compartilhamento do que chamamos de explicações específicas, e identificamos pouca articulação entre pesquisas realizadas no campo do ensino de ciências e os modelos propostos no âmbito da filosofia das explicações. Acreditamos que este trabalho fornece contribuições importantes no sentido de articular essas duas literaturas.

Em nossa análise do uso de moldes esquemáticos explicativos identificamos que não se tratam apenas de formas diferentes de organizar explicações, mas também que diferentes moldes esquemáticos aparentam ser mais eficazes para a realização de objetivos explicativos distintos. Gingras (2001) realiza uma análise histórica sobre o papel da matemática na construção de explicações científicas e uma de suas conclusões é que uma das revoluções causadas pela publicação dos *principia* diz respeito exatamente a uma mudança de paradigma explicativo. Até então as explicações aceitas pela comunidade científica eram essencialmente explicações causais, e a partir da divulgação dos trabalhos de Newton o autor rastreia a origem da tradição de deduzir conclusões físicas a partir de princípios matemáticos. A publicação do *Principia* de Newton marca o

início da mudança por meio da qual explicações de *unificação* baseadas na matemática se tornaram preferidas a explicações mecânicas (*causais*) *quando os mecanismos não estavam em acordo com os cálculos*. Os *Principia* de Newton foram recebidos por uma audiência que em sua grande maioria considerava que apenas verdadeiros contatos mecânicos entre partes de um contínuo podiam ser consideradas uma explicação física, enquanto que Newton tinha apresentado forças unicamente matemáticas, que pertenciam a uma ordem diferente de coisas, a geometria.

Gingras (2001) aponta que a natureza de seu conhecimento e o modo como a modelagem matemática se tornou a principal forma de raciocínio utilizada nesse campo fizeram com que a Física tenha se tornado uma disciplina naturalmente excludente, o que ajuda a explicar fenômenos como o alto índice de reprovação desta disciplina. Dessa forma, levar estas consequências da tradição explicativa dominante em consideração é importante ao se pensar sobre a formação de professores de Física, principalmente no que diz respeito à sua atuação na educação básica.

Um outro resultado é a possibilidade de que explicações causais possam ser mais acessíveis que explicações de unificação para pessoas com pouco domínio matemático, o que serve de indício para o ensino de Física de que em algumas situações pode ser mais vantajoso do ponto de vista pedagógico começar com explicações causais e aumentar gradualmente o uso de explicações de unificação – hipótese que pode ser foco de pesquisas futuras. Consideramos que entender as vantagens e limitações dos diferentes meios mediacionais utilizados em aulas de Física é importante para superarmos a aparente invisibilidade/neutralidade das ferramentas culturais, e acreditamos que nossa abordagem das explicações científicas represente um passo na direção deste objetivo. Outra possível aplicação que desdobramentos desta proposta podem proporcionar diz respeito à instrumentação de professores, embora o potencial desta atividade precise ser explorado em estudos futuros.

Por fim, consideramos que os três moldes esquemáticos explicativos adotados neste trabalho correspondem bem às explicações científicas analisadas, e esta parece ser uma abordagem promissora para uma melhor compreensão da estrutura organizacional de explicações científicas. Falta ainda realizar outros trabalhos com respeito a contextos escolares diversos, conteúdos diferentes e também a disciplinas variadas para examinar, e possivelmente ampliar, a abrangência desta visão. É perfeitamente possível que existam outros moldes esquemáticos e que a relação hierárquica entre eles mude dependendo do conteúdo, da disciplina e até do contexto em questão. Outra limitação deste trabalho diz respeito à forma como explicações específicas foram abordadas. Como a literatura aponta inúmeras abordagens distintas referentes a explicações específicas, nos

restringir à visão de Ogborn *et al.* (1996) nos limita a observar apenas algumas funções pedagógicas das explicações específicas. Há uma série de outros elementos que não foram incorporados a esta abordagem e que podem ser úteis para uma compreensão mais profunda deste aspecto das explicações científicas, o que também pode ser foco de trabalhos futuros.

7. REFERÊNCIAS

- Achinstein, P. (1983). *The nature of explanation*. Oxford: Oxford University Press.
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiples representations. *Computers & Education*, 33(2), 131 – 152.
- Araujo, I. S., & Mazur, E. (2013). Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(2), 362 – 384.
- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. *New Directions for Teaching and Learning*, 68, 3 – 12.
- Bell, P., & Linn, M. C. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22, 797 – 817.
- Bell, P. (Maio, 2010). *Reflections on the mangle of science learning research*. Paper presented at the annual meeting of the American Education Research Association, Denver, CO.
- Beyer, C. J., & Davis, E. A. (2008). Fostering second graders' scientific explanations: A beginning elementary teacher's knowledge, beliefs, and practice. *Journal of the Learning Sciences*, 17(3), 381 – 414.
- Berland, L. K., & McNeill, K. L. (2012). For whom is argument and explanation a necessary distinction? A response to Osborne and Patterson. *Science Education*, 96(5), 808 – 813.
- Berland, L. K., & Reiser, B. J., (2009). Making Sense of Argumentation and Explanation. *Science Education*, 93(1), 26 – 55.
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95(4), 639 – 669.
- Brasil. (2007). Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+): Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica: Brasília (DF).
- Brasil. (2015). Base Nacional Curricular Comum. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica: Brasília (DF).
- Carvalho, A. M. P. (2013). *Ensino de Ciências por Investigação*. São Paulo: Cengage Learning.
- Chambliss, M. J., Christenson, L. A., & Parker, C. (2003). Fourth graders composing explanations about the effects of pollutants. *Written Communication*, 20(4), 436 – 454.
- Chapman, M. L. (1994). The emergence of genres: Some findings from an examination of first-grade writing. *Written Communication*, 11, 348 – 380.
- Chapman, M. L. (1999). Situated, social, active: Rewriting genre in the elementary classroom.

Writing Communication, 16, 469 – 490.

- Chin, C., & Osborne, J. (2010). Students' questions and discursive interaction: Their impact on argumentation during collaborative group discussions in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 883 – 908.
- Chinn, C., & Malhotra, B. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175 – 218.
- Clark, D. B., & Sampson, V. D. (2007). Personally-seeded discussions to scaffold online argumentation. *International Journal of Science Education*, 29(3), 253 – 277.
- College Board. (2009). Science: College Board Standards for college success. New York: Author.
- Connors, R. J. (1985). The rhetoric of explanation: Explanatory rhetoric from 1850 to the present. *Written Communication*, 2, 49 – 72.
- Corriveau, K. H., & Kurkul, K. E. (2014). “Why does rain fall?”: Children prefer to learn from an informant who uses noncircular explanations. *Child Development*, 85(5), 1827 – 1835.
- Custódio, J. F. (2007). *Explicando explicações na educação científica: domínio cognitivo, status afetivo e sentimento de entendimento* (Tese de doutorado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Custódio, J. F., Cruz, F. F. S., & Pietrocola, M. (2011). Explicações Científicas, Explicações Escolares e Entendimento. *Alexandria*, 4(2), 179 – 204.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5 – 12.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287 – 312.
- Duschl, R., & Grandy, R. (Eds.). (2008). Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation. Rotterdam, The Netherlands: SensePublishers.
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPing into argumentation: Developing in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915 – 933.
- Etiologia. (2000). Em *Michaelis: minidicionário escolar da língua portuguesa*. São Paulo: Companhia Melhoramentos.
- Explanation. (1999). In R. Audi (Ed), *The Cambridge dictionary of philosophy* (2^a Ed. p. 298). New York: Cambridge University Press.
- Fang, Z. (2006). Scientific literacy: a systemic functional linguistics perspective. *Science Education*, 89, 335 – 347.
- Ford, M. J. (2006). “Grasp of practice” as a reasoning resource for inquiry and nature of science

- understanding. *Science & Education*, 17(2 – 3), 147 – 177.
- Ford, M. J. (2008). Disciplinary authority and accountability in scientific practice and learning. *Science Education*, 92(3), 404 – 432.
- Freedman, A. (1996). Genres of argument and arguments genres. In D. P. Berrill (Ed.), *Perspectives on written argument*, 91 – 120. Cresskill, NJ: Hampton.
- Friedman, M., (1974). Explanation and scientific understanding. *Journal of philosophy*, 71(1), 5-19.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Rutherford, M. (1998a). Models in explanations, part 1: horses of courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83 – 97.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Rutherford, M. (1998b). Models in explanations, part 2: whose voice? Whose ears? *International Journal of Science Education*, 20(2), 187 – 203.
- Gingras, Y. (2001). What did mathematics do to physics? *History of Science*, 39(4), 383 – 416.
- Gunel, M., Hand, B., & McDermott, M. A. (2009). Writing for different audiencer: effects on high-school students' conceptual understanding of Biology. *Learning and Instruction*, 19(4), 354 – 367.
- Ihme, N., & Wittwer, J. (2015). The role of consistency, order, and structure in evaluating and comprehending competing scientific explanations. *Instructional Science*, 43(4), 507 – 526.
- Halliday, M. A. K., & Martin, J. R. (1993). *Writing science: Literacy and discursive power*. London: The Falmer Press.
- Hammer, D., Russ, R., Mikeska, J., & Scherr, R. (2008). Identifying inquiry and conceptualizing abilities, In R. Duschl & R. Grandy (Eds.). *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 138 – 156). Rotterdam, The Netherlands: SensePublishers.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1991). Sharing cognition through collective comprehension activity. In L. B. Resnick, J. M. Levine, & S. D. Teasley (Eds.), *Perspectives on socially shared cognition* (pp. 331 – 348). Washington, DC: American Psychological Association.
- Hempel, C. G., & Oppenheim, P., (1948). Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135-173.
- Hogan, K., & Corey, C. (2001). Viewing classrooms as cultural contexts for fostering scientific literacy. *Anthropology & Education quarterly*, 32(2), 214 – 243.
- Hubber, P., Tytler, R., & Haslam, F. (2010). Teaching and learning about force with a representational foculs: Pedagogy and teacher change. *Research in Science Education*, 40(1), 4 – 28.
- Jimenez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodriguez, A., & Duschl, R. A. (2000). “Doing the lesson” or “doing science”: Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(3), 287 – 312.
- Kapon, S., Ganiel, U., & Eylon, B. (2010). Explaining the unexplainable: Physics lectures: perspectives of high school students, physics teachers and lecturers. *Physics Educatin*, 44, 528

– 535.

- Kitcher, P., (1989). Explanatory unification and the causal structure of the world. In P. Kitcher & W. C. Salmon (Eds.) *Minnesota studies in the philosophy of science: Vol. XIII. Scientific explanation*. (pp.410 - 499). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Klein, P. D. (2004). Constructing scientific explanations through writing. *Instructional Science*, 32, 191 – 231.
- Krajcik, J., McNeill, K. L., & Reiser, B. (2008). Students' reasoning about electricity: Combining performance assessments with argumentation analysis. *International Journal of Science Education*, 92(1), 1 – 32.
- Kuhn, T. S. (1998). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Scientific thinking and science literacy: Supporting development in learning in contexts. In W. Damon, R. Lerner, K. A. Renninger, & E. Sigel (Eds.), *Handbook of child psychology* (6th ed., Vol 4, pp. 153 – 196). Hoboken, NJ: Wiley.
- Leite, L., & Figueiroa, A. (2004). As atividades laboratoriais e a explicação científica em manuais escolares de ciências. *Alambique*, 39, 20 – 30.
- Lemke, J. (1990). *Talking Science*. London: Ablex.
- Lemke, J. (1998). Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In J. R. Martin & R. Veel (Eds.), *Reading Science* (pp. 87 – 113). London: Routledge.
- Lemke, J. (2004). The literacies of Science. In E. W. Saul (Ed.), *Crossing borders in literacy and science instructions: Perspectives on theory and practice* (pp. 33 – 47). Newark, DE: International Reading Association and National Science Teachers Association.
- Libâneo, J. C. (1985). *Democratização da escola pública*. São Paulo: Loyola.
- Lira, M. R. (2014). *A explicação na prática discursiva-pedagógica no ensino de ciências naturais*. Jundiaí: Paco Editora.
- Lyman, F. T. (1981). The responsive classroom discussion: The inclusion of all students. In A. Anderson (Ed.), *Mainstreaming Digest* (pp. 109 – 113). College Park: University of Maryland Press.
- Martins, I., Ogborn, J., & Kress, G. (1999). Explicando uma explicação. *ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciência*, 1(1), 1 – 14.
- Mazur, E. (1996). *Peer instruction: a user's manual*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- McNeill, K. L. (2011). Elementary students' views of explanation, argumentation, and evidence, and their abilities to construct arguments over the school year. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(7), 793 – 823.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the

effects of teacher's instructional practices on student learning. *Journal of research in science teaching*, 45(1), 53 – 78.

- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., & Krajcik J. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *The journal of the learning sciences*, 15(2), 153 – 191.
- Michaelsen, L. K., Knight, A. B., & Fink, L. D. (2004). *Team-Based-Learning: A transformative use of small groups in college teaching*. Sterling: Stylus.
- Mil, M. H. W., Boerwinkel, D. J., & Waarlo, A. J. (2013). Modelling molecular mechanisms: A framework of scientific reasoning to construct molecular-level explanations for cellular behavior. *Science & Education*, 22(1), 93 – 118.
- Müller, M. G., Brandão, R. V., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2012). Implementação do método de ensino Peer Instruction com o auxílio dos computadores do projeto “UCA” em aulas de Física do Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(1), 491 – 524.
- National Research Council. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Research Council. (2011). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Newton, D. P. (2010). Assessing the creativity of scientific explanations in elementary science: an insider–outsider view of intuitive assessment in the hypothesis space. *Research in Science & Technological Education*, 28(3), 187 – 201.
- Niebert, K., Marsch, S., & Treagust, D. F. (2012). A theory-guided reanalysis of the role of metaphors and analogies in understanding science. *Science Education*, 96(5), 849 – 877.
- Nieswandt, M., & Bellomo, K. (2009). Written extended-response questions as classroom assessment tools for meaningful understanding of evolutionary theory. *Journal of Research in Science Teaching*. 46, 333 – 356.
- Norris, S. P., Guilbert, S. M., Smith, M. L., Hakimelahi, S., & Phillips, L. M., (2005). A Theoretical Framework for Narrative Explanation in Science. *Science Education*, 89(4), 535 – 563.
- Novak, G. N., Patterson, E. T., Gavrín, A., & Christian, W. (1999). *Just-In-Time Teaching: Blending active learning and web technology*. Saddle River: Prentice Hall.
- Ogborn, J., Kress, G., Martins, I., & McGillicuddy, K., (1996). *Explaining Science in the Classroom*. Buckingham: Open university press.
- Oliveira, V., Veit, E. A., & Araujo, I. S. (2015). Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (Just-In-Time Teaching) e Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) para o ensino de tópicos de eletromagnetismo no nível médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(1), 180 – 206.
- Osborne, J. F. (Maio, 2010). *The importance of the history, philosophy, and sociology of science for*

the practice of school science. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Denver, CO.

- Osborne, J., & Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994 – 1020.
- Osborne, J. F., & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: a necessary distinction? *Science Education*, 95(4), 627 – 638.
- Pereira, A. P., & Ostermann, F. (2012). A aproximação sociocultural à mente, de James V. Wertsch, e implicações para a educação em ciências. *Ciência e Educação*, 18(1), 23 – 39.
- Pereira, A. P., Lima Junior, P. R. M., & Rodrigues, R. F. (in press). Explaining as mediated action: an analysis of students' account of forces of inertia in non-inertial frames of reference. *Science & Education*.
- Perkins, D. N., & Grotzer, T. A. (2005). Dimensions of causal understanding: The role of complex causal models in students' understanding of science. *Studies in Science Education*, 41, 117 – 166.
- Prain, V., Tytler, R., & Peterson, S. (2009). Multiple representation in learning about evaporation. *International Journal of Science Education*, 31(6), 787 – 808.
- Railton, P. (1981). Probability, explanation, and information. *Synthese*, 48, 233 – 256.
- Reiner, M. (2009). Sensory cues, visualization and physics learning. *International Journal of Science Education*, 31(3), 343 – 364.
- Reiser, B. J., Berland, L. K., & Kenyon, L. (2012). Engaging students in the scientific practices of explanation and argumentation. *Science Scope*, 35(8), 6 – 11.
- Rottman, B. M., & Keil, F. C. (2011). What matters in scientific explanations: Effects of elaboration and content. *Cognition*, 121, 324 – 337.
- Rowan, K. E. (1988). A contemporary theory of explanatory writing. *Written Communication*, 5, 23 – 56.
- Rowan, K. E. (1990). Cognitive correlates of explanatory writing skill: An analysis of individual differences. *Written Communication*, 7, 316 – 341.
- Ruiz-Primo, M. A., Li, M., Tsai, S., & Schneider, J. (2010). Testing one premise of scientific inquiry in science classrooms: Examining students' scientific explanations and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 583 – 608.
- Rusanen, A. (2014). Towards to an explanation for conceptual change: A mechanistic alternative. *Science & Education*, 23(7), 1413 – 1425.
- Russ, R. S., Scherr, R. E., Hammer, D., & Mikeska, J. (2008). Recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry: A framework for discourse analysis developed from philosophy of science. *Science Education*, 92(3), 499 – 525.

- Salmon, W. C. (1984). *Scientific explanation and the causal structure of the world*. Princeton: Princeton University Press.
- Salmon, W. C. (1989). *Four decades of scientific explanation*. In P. Kitcher & W. C. Salmon (Eds.) *Minnesota studies in the philosophy of science*, Vol. XIII. Scientific explanation (pp. 3 – 219). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Salmon, W. C. (1990). Scientific explanation: causation and unification. *Revista Hispanoamericana de Filosofia*, 66, 3 – 23.
- Sampson, V., & Clark, D. B. (2008). Assessment of the ways students generate arguments in science education: current perspectives and recommendations for future directions. *Science Education*, 92(3), 447 – 472.
- Sampson, V., Grooms, J., & Walker, J. P. (2011). Argument-driven inquiry as a way to help students learn how to participate in scientific argumentation and craft written arguments: An exploratory study. *Science Education*, 95, 217 – 257.
- Sandoval, W. A. (2003). Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanations. *The Journal of the Learning Sciences*, 12(1), 5 – 51.
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and instruction*, 23(1), 23 – 55.
- Santos, W. L. P., & Mortimer, E. F. (2001). Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. *Ciência e Educação*, 7(1), 95 – 111.
- Scriven, M., (1963). The temporal asymmetry between explanations and predictions. In B. Baumrin (Ed.). *Philosophy of science*. The Delaware seminar (Vol. I, pp. 97-105). New York, Wiley.
- Sevian, H., & Gonsalves, L. (2008). Analysing how scientists explain their research: a rubric for measuring the effectiveness of scientific explanations. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1441 – 1467.
- Sherin, B. L., Krakowski, M., & Lee, V. R. (2012). Some assembly required: how scientific explanations are constructed during clinical interviews. *Journal of research in science teaching*, 49(2), 166 – 198.
- Silva, C. C. (2007). The role of models and analogies in the electromagnetic theory: A historical case study. *Science & Education*, 16(7-8), 835 – 848.
- Smolkin, L. B., McTigue, E. M., Donoval, C. A., & Coleman J. M. (2009). Explanation in science trade books recommended for use with elementary students. *Science Education*, 93(4), 587 – 610.
- Stead, D. R. (2005). A review of the one-minute paper. *Active Learning in Higher Education the Journal of the Institute for Learning and Teaching*, 6(2), 118 – 131.
- Thagard, P. (2014). Explanatory identities and conceptual change. *Science & Education*, 23(7), 1531 – 1548.

- Touger, J. S., Duresne, R. J., Gerace, W. J., Hardiman, P. T., & Mestre, W. J. (1995). How novice physics students deal with explanations. *International Journal of Science Education*, 17(2), 255 – 269.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and sybolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*. 25(11), 1353 – 1368.
- Tschaepe, M. D. (2012). The student as philosopher-scientist: Dewey's conception of scientific explanation in science education. *Education & Culture*, 28(2), 70 – 80.
- Unsworth, L. (1998). 'Sound' explanations in school science: A funcional linguistic perspective on effective apprenticing texts. *Linguistics and Education*, 9(2), 199 – 226.
- Unsworth, L. (2001). Evaluating the language of different types of explanatoins in junior high school science texts. *International Journal of Science Education*, 23, 585 – 609.
- van Fraassen, B. C., (1980). *The scientific image*. Oxford: Oxford University Press.
- Veel, R. (1997). Learning how to mean—scientifically speaking: Apprenticeship into scientific discourse in the secondary school. In F. Christie & J. Martin (Eds.), *Genre and institutions: Social processes in the workplace and school* (pp. 161 – 195). London: Continuum.
- Vygotsky, L. S. (1981). *The genesis of higher mental functions*. In J. V. Wertsch (Ed.). *The concept of activity in Soviet psychology* (pp. 144 – 188). Armonk: Sharpe.
- Vygotsky, L. S. (1991). *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores* (4th ed.). São Paulo: Martins Fontes.
- Vygotsky, L. S. (2008) *Pensamento e Linguagem* (4th ed.). São Paulo: Martins Fontes.
- Wang, C. (2014). Scaffolding middle school students' construction of scientific explanations: comparing a cognitive vs a metacognitive evaluation approach. *International Journal of Science Education*, 37(2), 237 – 271.
- Weber, E., Van Bouwel, J. & De Vreese, L., (2013). *Scientific Explanation*. Londres: Springer.
- Welsh, S. M. (2002). Advice to a new sciencece teacher: the importance of establishing a theme in teaching scientific explanations. *Journal of Science Education and Technology*, 11(1), 93 – 95.
- Wertsch, J. V. (1991). *Voices mind: a sociocultural approach to mediated action*. Cambridge: Harvard University press.
- Wertsch, J. V. (1998). *Mind as action*. New York: Oxford University Press.
- Wertsch, J. V. (2002). *Voices of collective remembering*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wertsch, J. V. (2008). The narrative organization of collective memory. *Ethos*, 36(1): 120 – 135.
- Wilson, R. A., & Keil, F. C. (2002). The shadows and shallows of explanation. In F. C. Keil Y R. A.

- Wilson (Eds.), *Explanation and Cognition* (pp. 87 – 114). Cambridge, MA: MIT Press.
- Windschitl, M. (2008). What is inquiry? A framework for thinking about authentic scientific practice in the classroom. In J. Luft, R. Bell, & J. Gess-Newsome (Eds.). *Science as inquiry in the secondary setting* (pp. 1 – 20). Arlington, VA: NSTA press.
- Woodruff, E., & Meyer, K. (1997). Explanations from intra- and inter-group discourse: students building knowledge in the science classroom. *Research in Science Education*, 27(1), 25 – 39.
- Woodward, J., (2003). *Making things happen: A theory of causal explanation*. Oxford.
- Yang, H., & Wang, K. (2014). A teaching model for scaffolding 4th grade students' scientific explanation writing. *Research in Science Education*, 44(4), 531 – 548.
- Yeo, J., & Gilbert, J., & Gilbert, J. K. (2014). Constructing a scientific explanation – a narrative account. *International Journal of Science Education*, 36(11), 1902 – 1935.
- Zangori, L., & Forbes, C. T. (2014). Scientific practices in elementary classrooms: third-grade students' scientific explanations for seed structure and function. *Science Education*, 98(4), 614 – 639.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35 – 62.