

Bases Teóricas para um Modelo de “Distribuição Conceitual” na Educação em Ciências

Theoretical Foundations for a Model of “Conceptual Distribution” in Science Education

Alexsandro Pereira de Pereira, Brasil

O presente artigo apresenta as bases teóricas para um modelo sociocultural de mudança conceitual, desenvolvido para analisar a dinâmica das concepções no ensino de Ciências. Este modelo é inspirado na abordagem sociocultural de James V. Wertsch e tem como tese central a afirmação de que as concepções em Ciências são mais bem entendidas como uma forma de ação mediada. A partir desta perspectiva, o conceber envolve uma tensão irreduzível entre agentes ativos e recursos textuais na forma de explicação. Este modelo se diferencia de outras teorias de mudança conceitual ao sugerir que diferentes grupos geram diferentes representações da realidade física. Neste sentido, as concepções são vistas como um processo ativo que frequentemente envolve disputa e contestação entre pessoas, mais do que um corpo estruturado de conhecimento que elas possuem.

Palavras-chave: mudança conceitual; distribuição conceitual; análise sociocultural.

This paper presents the theoretical foundations for a sociocultural model of conceptual change, developed to analyze the dynamics of conceptions in Science teaching. This model is inspired by James V. Wertsch's sociocultural approach and its main thesis is the claim that conceptions in Science are best understood as a form of mediated action. From this perspective, conceiving involves a tension between active agents and textual resources in the form of explanation. This model differs from other conceptual change theories in suggesting that different groups generate different account of physical reality. In this connection, conceptions are viewed as an active process that often involves contention and contestation among people rather than a structured body of knowledge they possess.

Keywords: conceptual change; conceptual distribution; sociocultural analysis.

Introdução

Nos anos 1980, a teoria da mudança conceitual, desenvolvida por pesquisadores da Universidade de Cornell (POESNER et al., 1982; HEWSON, 1981), se tornou “o principal paradigma” que orientou as pesquisas e as inovações na Educação em Ciência por vários anos (VOSNIADOU, 2007b). Sua gênese está ligada ao programa das concepções alternativas, que surgiu em meados da década de 1970 (e.g., DRIVER, 1973). Nos anos 1990, no entanto, a teoria da mudança conceitual passou a sofrer inúmeras críticas (e.g., CARAVITA; HALLDÉN, 1994; LINDER, 1993; PINTRICH; MARX; BOYLE, 1993), sendo, no Brasil, abandonada no âmbito da pesquisa já na década seguinte¹. No cenário internacional, no entanto, alguns autores continuaram defendendo a teoria da mudança conceitual como um quadro teórico poderoso para aprimorar o ensino e a aprendizagem de Ciências (e.g., DUIT; TREAGUST, 2003).

Na Psicologia, a história é bastante diferente. Desde a sua origem nos estudos sobre desenvolvimento cognitivo (CAREY, 1985), a pesquisa em mudança conceitual tem evoluído consideravelmente. Na atualidade, este programa, liderado principalmente por Stella Vosniadou² (2013), tem envolvido várias subáreas da Psicologia e investiga a mudança cognitiva em outros domínios além das Ciências da Natureza, incluindo a História (e.g., LIMÓN, 2002), a Matemática (VOSNIADOU; VERSCHAFFEL, 2004), a área de Medicina e Saúde (e.g., KAUFMAN; KESELMAN; PATEL, 2008), entre outros. Diferentemente das pesquisas em Educação em Ciências, os estudos sobre mudança conceitual, na Psicologia, são caracterizados por uma diversidade de perspectivas teóricas que deram origem a importantes controvérsias neste campo de estudos³.

A mais recente controvérsia na pesquisa em mudança conceitual diz respeito ao que alguns autores têm chamado de “divisão cognitivo-situativo” (VOSNIADOU 2007a). Com a “virada discursiva” (MORTIMER; SCOTT, 2002) na pesquisa em Educação em Ciências, *mudança conceitual* e outras noções como “prática conceitual” (KRANGE, 2007) ou “mudança discursiva” (WICKMAN; ÖSTMAN, 2002), têm se tornado o foco de um renovado interesse nos estudos socioculturais. Em um número especial da revista *Cultural Studies of Science Education*, Wolff-Michael Roth e seus colaboradores (ROTH; LEE; HWANG, 2008) desafiaram a comunidade de Educação em Ciências a se perguntar o que significaria considerar as noções de *concepção* e *mudança conceitual* a partir da perspectiva dos estudos culturais.

1 Uma das alternativas à pesquisa em mudança conceitual, emergentes na década de 1990, é o programa do perfil conceitual, inaugurado por Eduardo F. Mortimer (1995).

2 No 8º congresso internacional sobre mudança conceitual, realizado na cidade de Trier (Alemanha) em 2012, Stella Vosniadou proferiu uma palestra e foi anunciada como sendo “a mãe fundadora” da pesquisa contemporânea sobre mudança conceitual.

3 O exemplo mais paradigmático é a controvérsia “coerência *versus* fragmentação” (DISSESA; GILLESPIE; ESTERLY, 2004), relativa ao modo como o conhecimento prévio do aluno é representado. Enquanto alguns autores o definem como “estruturas do tipo teoria” (VOSNIADOU, 2007b), outros pesquisadores o concebem como “conhecimento em pedaços” (DISSESA, 1988).

De fato, iniciativas de reconsiderar o problema da mudança conceitual sob o enfoque sociocultural têm se tornado uma verdadeira tendência neste campo de estudo. Esse movimento surgiu a partir de pequenas contribuições em capítulo de livros especializados sobre o tema (e.g., IVARSSON; SCHOULTZ; SÄLJÖ, 2002; KELLY; GREEN, 1998; SÄLJÖ, 1999; SFARD, 2007), evoluindo para um intenso debate entre os proponentes de cada perspectiva (ver MASON, 2007; TOBIN, 2008).

Com vistas a atender o chamado de Roth, Lee e Hwang (2008), este artigo apresenta uma proposta teórica para analisar a dinâmica das concepções no ensino de Ciências, baseado na noção de “distribuição conceitual” (PEREIRA, 2012). Este modelo difere de outras teorias de mudança conceitual ao afirmar que diferentes grupos geram diferentes representações da realidade física. Assim, em vez de considerá-las como um corpo estruturado de conhecimento, as concepções em Ciências são vistas como um processo ativo que frequentemente envolve disputa e contestação entre pessoas. Na primeira parte desse artigo, o modelo de distribuição é delineado e implicações para a pesquisa em Educação em Ciências são apresentadas. Na segunda parte, processos de disputa e contestação sobre a realidade física são ilustrados a partir de dois exemplos no âmbito da física quântica: um extraído da História da Ciência e outro retirado do contexto da sala de aula.

Parte I: Preliminares metodológicos para o estudo da mudança conceitual

Conforme diSessa (2006) tem apontado, um dos aspectos mais influentes na pesquisa em mudança conceitual é a analogia com a História e Filosofia da Ciência. No artigo de Posner e colaboradores, por exemplo, os autores assumiram explicitamente que “a maior fonte de hipóteses referente a esta questão é a filosofia contemporânea da ciência” (POSNER et al., 1982, p. 211, nossa tradução). Eles se basearam nas epistemologias de Thomas Kuhn e de Imre Lakatos para caracterizar processos de assimilação e acomodação do conhecimento científico no âmbito da sala de aula de Ciências. Na Psicologia do Desenvolvimento, Carey apontou que “o estudo da mudança de teoria na História da Ciência levou a uma visão muito mais radical de reestruturação de conhecimento” (CAREY, 1985, p. 4, nossa tradução). A autora também se inspirou nas epistemologias de filósofos como Thomas Kuhn, Stephen Toulmin e Paul Feyerabend para formular sua visão do desenvolvimento cognitivo.

Mesmo as críticas à teoria da mudança conceitual são, em grande parte, motivadas por analogias com a História e Filosofia da Ciência. Autores como Villani (1992) e Duschl e Gitomer (1991) se apoiaram na epistemologia de Larry Laudan para defender uma visão mais evolucionária da mudança conceitual. Mortimer (1995) se baseou na noção de perfil epistemológico de Gaston Bachelard para desenvolver sua teoria do perfil conceitual. Em um importante sentido, estas analogias com a História e Filosofia da Ciência incorporam a metáfora do estudante-cientista. Tal metáfora “assume que os objetivos e intenções das crianças e jovens na escola são análogos, se não idênticos,

aos objetivos e intenções de cientistas e comunidades científicas” (PINTRICH; MARX; BOYLE, 1993, p. 192, nossa tradução).

Com relação a isso, autores como Caravita e Halldén (1994) observam que versões mais extremas desta analogia aderem à “teoria da recapitulação”, segundo a qual haveria um paralelo entre a formação de conceitos no indivíduo e o desenvolvimento dos conceitos na História da Ciência. Conforme Wertsch (1991) tem apontado, noções “recapitulacionistas” são agora amplamente rejeitadas na Psicologia, embora alguns aspectos ainda se façam presentes nos métodos usados para coletar e analisar dados empíricos. Este parece ser exatamente o caso da pesquisa em mudança conceitual. No capítulo primeiro do livro *Re-framing the Conceptual Change Approach in Learning and Instruction*, por exemplo, Vosniadou afirmou que “um dos propósitos do presente volume é examinar as críticas à abordagem kuhniana que surgiram ao longo dos anos na Filosofia e História da Ciência e avaliar sua utilidade para teorizar a mudança conceitual na aprendizagem e instrução” (VOSNIADOU, 2007b, p. 2, nossa tradução).

Seguindo esta mesma linha de raciocínio, Pozo (1999) apontou que um dos problemas deste campo de estudo é o fato de que muitos autores costumam dar certos saltos argumentativos entre níveis distintos de análise quando se referem à mudança conceitual. O autor faz uma distinção entre os níveis *evolutivo*, *epistemológico* e *instrucional*⁴ e afirma que não existem razões para supor que as mudanças que ocorrem em um nível devam necessariamente ocorrer nos demais níveis. Esta postura é consistente com a posição de Lev S. Vygotsky e Alexander R. Luria. Na monografia *Estudos Sobre a História do Comportamento: o Macaco, o Primitivo e a Criança* (VYGOTSKY; LURIA, 1996), os autores identificaram três linhas principais de desenvolvimento (a *evolutiva*, a *histórica* e a *ontogenética*)⁵ e afirmaram que o comportamento cultural do homem é o produto dessas três linhas. Para os propósitos deste artigo, o mais importante é que, na visão destes autores, cada linha de desenvolvimento é governada por um conjunto próprio de princípios explicativos (WERTSCH, 1991).

Wertsch (1985) identificou uma quarta linha de desenvolvimento nos comentários de Vygotsky acerca dos procedimentos experimentais em Psicologia. Esta linha, a qual chamou de “microgênese”, se refere à formação em curto prazo de certos processos mentais, que podem ocorrer em frações de segundos ou em um período de dias ou semanas (VYGOTSKY, 1994). A partir desta classificação, é possível situar as diferentes pesquisas em mudança conceitual de acordo com sua linha de desenvolvimento de interesse: os debates em História e Filosofia da Ciência (e.g., KUHN, 1970) se situam na linha histórica; as pesquisas sobre desenvolvimento cognitivo (e.g., CAREY, 1985), por outro lado, se situam na linha ontogenética; já os estudos sobre mudanças no âmbito da

4 Na classificação de Pozo, o nível *evolutivo* refere-se às mudanças que ocorrem como resultado do desenvolvimento cognitivo; o nível *epistemológico* refere-se às mudanças que ocorrem na História da Ciência; o nível *instrucional* refere-se às mudanças produzidas como consequência do ensino formal.

5 Na abordagem de Vygotsky e Luria, a linha *evolutiva* refere-se à evolução biológica da espécie humana; a linha *histórica* refere-se ao desenvolvimento histórico do homem; a linha *ontogenética* refere-se ao desenvolvimento psicológico individual, desde a infância até a fase adulta.

sala de aula (e.g., POSNER et al. 1982) se situam na linha microgenética.

Seguindo os princípios de Vygotsky e Luria, é possível inferir que os modelos de mudança conceitual formulados com base em analogias com a História e Filosofia da Ciência, independente do filósofo adotado, são mal formulados. Isso não significa que os estudos sobre a História e Filosofia da Ciência não sejam importantes, ou que a pesquisa em mudança conceitual deva se dedicar exclusivamente à microgênese da sala de aula. Significa sim que o estudo da mudança conceitual deveria considerar diferentes linhas de desenvolvimento. Em vista disso, o argumento central deste artigo é por uma *troca de analogia*. Em vez de se basear na História e Filosofia da Ciência, o modelo de distribuição conceitual aqui proposto está fundamentado em uma analogia entre concepções em Ciência e “memória coletiva”, mais especificamente na versão distribuída do lembrar coletivo delineado por Wertsch (2002).

A memória coletiva é uma representação do passado compartilhada por membros de um coletivo, tal como uma geração ou uma nação-estado (WERTSCH, 2008). Em vez de enfatizar a memória e a experiência individual, os estudos da memória coletiva examinam fenômenos sociais, como comemorações nacionais e a educação em História, para compreender como tais processos dão origem a relatos compartilhados do passado. Para entender como a memória coletiva se torna *coletiva*, Wertsch (2002) foi além das categorias de *indivíduo* e *coletivo* e usou as noções de “ação mediada” e “recursos textuais” para enfatizar que o lembrar invariavelmente envolve uma “tensão irreduzível” (WERTSCH, 1998) entre agentes ativos e as ferramentas culturais que eles empregam, como agendas, calendários e narrativas. Assim, membros de um coletivo compartilham uma representação do passado porque compartilham recursos textuais.

Uma das vantagens de se usar uma analogia com a memória coletiva na construção de um modelo sociocultural de mudança conceitual está no fato de que o modelo resultante desse processo é inerentemente baseado em princípios socioculturais. Desta maneira, evita-se o problema de se fazer aproximações entre quadros teóricos que têm origens em tradições intelectuais epistemologicamente distintas. Além disso, a analogia com a memória coletiva levanta a possibilidade de descrever as concepções em Ciências em termos de um palco de disputa e contestação entre pessoas. Questões relativas à disputa e contestação sobre a realidade física não foram ainda abordadas pelos teóricos da mudança conceitual. Finalmente, a analogia com uma versão distribuída da memória coletiva, enquanto um processo mediado por recursos textuais, evita várias formas de recapitulacionismo que têm obscurecido as pesquisas em mudança conceitual durante anos.

Distribuição conceitual: uma nova perspectiva para a Educação em Ciências

O modelo de distribuição conceitual é um modelo teórico, desenvolvido para analisar a dinâmica das concepções no ensino de Ciências. Trata-se de uma abordagem sociocultural a mudança conceitual que enfatiza o modo pelo qual as concepções em

Ciências são fundamentalmente moldadas pelos “recursos textuais” (WERTSCH, 2002) empregados. A tese central aqui defendida é a afirmação de que *as concepções em Ciência são mais bem entendidas como uma forma de ação mediada* (PEREIRA, 2012). A partir desta perspectiva, as concepções em Ciências não são entidades mentais que habitam o interior de nossos cérebros, mas uma forma de ação mental “distribuída” (HUTCHINS, 1995) entre sujeitos ativos e itens como tabelas periódicas, fórmulas matemáticas e explicações. Portanto, não são nossas concepções que orientam nossas explicações do mundo natural. Ao contrário, *são as explicações que aprendemos a usar que moldam nossas representações da realidade*. Esta formulação contrasta com a metáfora da aquisição⁶, que dominou as pesquisas em Psicologia por vários anos.

Nosso modelo é compatível com o estudo de Ivarsson, Schoultz e Säljö (2002). Estes autores examinaram o modo como crianças em idade escolar raciocinam sobre conceitos elementares de astronomia usando um atlas como instrumento intelectual. Os resultados deste estudo mostraram que, mediante o uso do atlas, nenhuma das crianças envolvidas na pesquisa sugeriu que é possível *cair* da Terra, ou a descreveu como sendo plana, oca, achatada ou tendo qualquer outra das formas relatadas em estudos sobre concepções alternativas acerca da forma da Terra (e.g., VOSNIADOU; BREWER, 1992). De acordo com esses autores, a mudança conceitual é entendida como o “domínio crescente de meios de mediação que podem ser intelectuais ou físicos” (IVARSSON, SCHOULTZ; SÄLJÖ, 2002, p. 86, nossa tradução).

Em vez de enfatizar o uso de artefatos como globos e atlas, o modelo de distribuição conceitual se concentra no uso da linguagem⁷ (escrita e oral) como ferramenta cultural. Devido à sua natureza efêmera, isto é, de materialidade transitória, a linguagem falada tende a ser “transparente” (WERTSCH, 2006), tornando-se mais difícil de ser tomada como objeto de reflexão consciente e manipulação. Uma das formas de linguagem mais fundamentais para o ensino de Ciências é a explicação científica. Estudos sobre a natureza da explicação científica têm uma longa história na Filosofia da Ciência desde o artigo seminal de Hempel e Oppenheim (1948), mas uma revisão sobre este tema está para além do escopo deste artigo. Assumiremos aqui a tarefa mais simples de examinar como as explicações científicas podem servir aos membros de um grupo social (e.g., professores de Física) como ferramentas culturais para representar o mundo natural.

Uma consequência de se adotar as explicações científicas como ferramentas culturais é a necessidade de se direcionar a atenção para a “multivocalidade” (*multivoicedness*) (WERTSCH, 1991) da explicação. Como é o caso de todo enunciado, as explicações científicas têm sempre um histórico de uso por parte de outros falantes e, como resultado, traz suas próprias posições valorativas, ou “vozes” (BAKHTIN, 1981),

6 Segundo Sfard (1998), a metáfora da aquisição é uma metáfora na qual o conhecimento é visto como “algo dentro da cabeça”. Uma vez adquirido, o conhecimento pode ser aplicado, transferido para outras situações e compartilhado com outros sujeitos.

7 Embora a ênfase aqui seja sobre a linguagem natural, outros modos de comunicação tais como gestos e a matemática são considerados como elementos constituintes da explicação e, portanto, são incorporados na análise na medida em que vão se mostrando necessários.

para os atos concretos de fala. Assim, o problema central dos estudos das concepções em Ciências está em como os agentes coordenam suas vozes com aquelas por trás dos recursos textuais que eles empregam. Neste sentido, as explicações científicas podem ser entendidas como um “gênero de discurso” (BAKHTIN, 1986), pertencente a uma dada esfera da atividade humana.

Tomando emprestada uma expressão de Philip Kitcher (1989), assumimos que as explicações científicas são itens de um “acervo explicativo” (*explanatory store*), que constitui parte importante do “kit de ferramentas” (WERTSCH, 1991) disponível em um contexto sociocultural particular. Assim como as demais formas de mediação semiótica, as explicações científicas não são inventadas por *todos* aqueles que as utilizam, nem são descobertas pela interação independente dos sujeitos com a natureza. Pelo contrário, elas constituem “recursos comunicativos” (ROTH; LEE; HWANG, 2008) disponíveis em uma cultura”.

De acordo com nosso modelo, a mudança conceitual é vista como uma mudança nos “padrões de privilegiação” (WERTSCH, 1991), referentes ao modo como os indivíduos avaliam a eficácia ou adequação de uma determinada ferramenta cultural em oposição a outras, em um contexto sociocultural particular. Tais padrões de privilegiação devem ser examinados, na microgênese da sala de aula, a partir dos processos genéticos através dos quais os agentes passam a dominar explicações científicas acerca de fenômenos naturais. Já na História da Ciência, as mudanças na forma de representar o mundo natural estão associadas ao surgimento de novas formas de mediação, em particular de novos recursos textuais na forma de explicação.

Natureza distribuída das concepções em ciências

O termo “distribuído”, explícito no modelo de distribuição conceitual, deriva de estudos em Ciência Cognitiva Contemporânea, em particular da perspectiva da “cognição distribuída” defendida por Edwin Hutchins (1995). Da forma empregada neste artigo, as concepções em Ciência são distribuídas *instrumentalmente*, no sentido de que envolvem tanto pessoas como “dispositivos de pensamento” (LOTMAN, 1988). Essa formulação tem como base os estudos de Lev S. Vygotsky acerca do método instrumental em psicologia. De acordo com esse autor, dentre as diversas *ferramentas psicológicas* disponíveis aos seres humanos, encontram-se “a linguagem, as diferentes formas de numeração e cálculo, os dispositivos mnemotécnicos, o simbolismo algébrico, as obras de arte, a escrita, os diagramas, os mapas, os desenhos, todo tipo de signo convencional, etc.” (VIGOTSKI, 2004, p. 93).

Há, porém, um segundo sentido no qual as concepções em ciências são vistas como sendo distribuídas. Neste segundo sentido, as concepções são distribuídas *socialmente* em atividades colaborativas, quando duas ou mais pessoas trabalham juntas na realização de uma determinada tarefa. Esta formulação deriva da *lei genética geral do desenvolvimento cultural* de Vygotsky (1981), que afirma que as funções mentais superiores, no indivíduo, aparecem primeiramente no plano social e só mais tarde no plano psicológico. De acordo

com essa lei, noções como memória ou raciocínio podem ser adequadamente aplicadas tanto a grupos quanto a indivíduos (WERTSCH, 1991). Diversos autores reconhecem esta forma de distribuição social quando examinam a construção de significados no “plano social” da sala de aula de Ciências (e.g., MORTIMER; SCOTT, 2002).

A distribuição social das concepções em Ciência também se aplica a concepções que são distribuídas *entre* membros de um coletivo. Neste sentido mais restrito, distribuído é o mesmo que *compartilhado*, havendo três formas básicas de distribuição social: a) a distribuição “homogênea”; b) a distribuição “complementar”; e c) a distribuição “contestada”. Na distribuição homogênea, membros de um grupo social compartilham a mesma representação da realidade. Diversos estudos sobre concepções alternativas já reportaram indivíduos que compartilham as mesmas ideias básicas sobre força e movimento (e.g., CLEMENT, 1982), seres vivos (e.g., CAREY, 1985), a forma da Terra (e.g., VOSNIADOU; BREWER, 1992), entre outras concepções alternativas.

Na distribuição complementar, membros de um coletivo representam diferentes facetas do mesmo fenômeno, mas tais diferenças existem em um sistema coordenado de peças que se complementam. Esta forma de distribuição é consistente com a teoria do perfil conceitual (MORTIMER, 1995). De acordo com o autor dessa teoria, o conceito científico de calor, definido como processo de transferência de energia, é complementar ao conceito cotidiano de calor, no sentido de que existem contextos em que um dos dois conceitos é mais adequado do que o outro (MORTIMER, 1996). Concepções complementares também são encontradas na pesquisa de Caravita e Halldén (1994). Os autores analisaram como crianças de idade escolar constroem o conceito de organismo a partir de diferentes contextos de atividade, cada qual associado a um nível diferente de abstração (encenação teatral, desenho de mapas conceituais e construção de modelos de órgãos com materiais concretos).

A distribuição social contestada, por sua vez, pressupõe que diferentes perspectivas são inerentes ao processo de representação da realidade. Porém, nesse caso, essas concepções formam um sistema de oposição e contestação. Um exemplo disso pode ser encontrado em um trabalho de Nelio Bizzo (1993). O autor utilizou a noção de “reconceitualização social” para analisar as interpretações conflitantes da teoria evolutiva no meio acadêmico. Partindo dos textos de biólogos como Emanuel Radl, John C. Greene, Robert Maxwell Young e Ernst Mayr, ele concluiu que “a simples e aparentemente fácil pergunta ‘o que é o darwinismo’ admite diferentes respostas” (BIZZO, 1993, p. 4, nossa tradução). Diferentes interpretações de uma mesma teoria também são encontradas no âmbito da física quântica (PESSOA JR., 2003; PINTO NETO, 2010), conforme será discutido na segunda parte deste artigo.

Implicações para a pesquisa em Educação em Ciências

O modelo de distribuição conceitual pode trazer contribuições relevantes para a pesquisa em Educação em Ciências, em particular para os estudos das concepções alternativas e da mudança conceitual. Em primeiro lugar, ao se considerar as explicações

científicas como ferramentas culturais se torna necessário redefinir o próprio conceito de aprendizagem. Do ponto de vista da distribuição conceitual, o aprender Ciências toma a forma de “domínio” (WERTSCH, 1998) de explicações científicas fornecidas por outros⁸. Da forma entendida aqui, *domínio* significa saber utilizar uma ferramenta cultural com facilidade. É importante salientar que, nesta perspectiva, o domínio sobre uma ferramenta cultural, não implica “apropriação”⁹. Isto significa que um sujeito pode perfeitamente aprender a usar uma explicação científica sem, com isso, acreditar nela.

Além disso, ao assumir a metáfora do kit de ferramentas, fica claro que o domínio de uma explicação científica não implica o abandono de outras formas de explicar o mundo natural, conforme pressunha as primeiras teorias de mudança conceitual (e.g., POSNER et al., 1982). Assumindo que diferentes explicações geram diferentes representações da realidade, é possível empregar diferentes explicações em diferentes contextos, de acordo com a adequação de cada uma. Essa questão já foi apontada por diversos autores (LINDER, 1993; POZO; GÓMEZ; SANZ, 1999; SOLOMON, 1983; SPADA, 1994) e está no cerne da teoria do perfil conceitual (MORTIMER, 1995). Neste sentido, torna-se necessário não apenas examinar o quão bem um sujeito domina uma determinada explicação científica, mas também compreender por que razão certas formas de explicação, em oposição a outras, são privilegiadas em certos contextos.

Finalmente, ao adotar as explicações científicas como ferramentas culturais o foco da análise muda de aspectos cognitivos (individuais) para processos sociais. Partindo do pressuposto de que diferentes esferas da atividade humana disponibilizam diferentes recursos textuais, podemos concluir que diferentes grupos sociais geram diferentes representações da realidade. Assim sendo, o ensino de ciências passa a ser visto como uma “cruzada de fronteira” para dentro de outra subcultura, conforme argumentado por Aikenhead (1996). É interessante notar que mesmo os modelos de mudança conceitual baseados na visão epistemológica de Kuhn raramente levam em conta sua dimensão sociológica. Conforme o autor argumentou no pós-escrito de sua obra mais famosa: “o conhecimento científico, assim como a linguagem, é intrinsecamente a propriedade comum de um grupo ou então não é nada. Para entendê-lo, vamos precisar conhecer as características especiais dos grupos que criam e usam esse conhecimento” (KUHN, 1970, p. 208, nossa tradução).

Parte II: Concepções em física quântica – um caso de distribuição social contestada

Nesta seção, buscamos ilustrar a afirmação de que *diferentes grupos geram*

8 Essa afirmação não é tão “ingênua” quanto possa parecer. Ela deriva da afirmação bakhtiniana de que “a palavra não existe em uma linguagem neutra e impessoal (não é, afinal de contas, do dicionário que o falante retira suas palavras!), mas sim ela existe na boca de outras pessoas, nos contextos concretos de outras pessoas, servindo as intenções de outras pessoas” (BAKHTIN, 1981, p. 294, nossa tradução).

9 Apropriação, de acordo com Wertsch (1998), representa outra forma de relação entre agente e ferramenta cultural e tem a ver com o quanto o indivíduo se identifica com uma determinada ferramenta, isto é, com o quanto ele está disposto a utilizá-la.

diferentes representações da realidade física, mesmo dentro da comunidade científica. Conforme apontou o historiador da Ciência Helge Kragh, “quase todos os casos da história da ciência demonstram a dificuldade em obter consenso, as controvérsias, a interação com forças externas e as bases metafísicas sobre as quais muitos argumentos científicos repousam” (KRAGH, 1992, p. 350, nossa tradução). Neste sentido, a física quântica não é exceção e muitas das questões disputadas no passado permanecem ainda em aberto.

Uma história da contestação em física quântica

Casos de disputa e contestação, na Ciência, são frequentemente discutidos sob o título de “controvérsia” (ENGELHARD; CAPLAN, 1987). De acordo com historiador da Ciência Ronald N. Giere (1987), controvérsia é uma disputa prolongada entre indivíduos ou grupos acerca de alguma questão de interesse comum. Esta definição caracteriza a controvérsia como um fenômeno social, não podendo ser reduzida a uma categoria lógica (existência de proposições contrárias) ou a uma categoria psicológica (existência de crenças contrárias).

No âmbito da Física, o historiador da ciência Olival Freire Jr. (2003) analisou a história da controvérsia acerca dos fundamentos da mecânica quântica. De acordo com esse autor, este episódio da história da ciência pode ser caracterizado por três períodos distintos. O primeiro período, que avança até o final dos anos 1940, é marcado pelo o que o autor Max Jammer chamou de “quase incontestada monocracia da escola de Copenhague” (JAMMER, 1974, p. 250, nossa tradução). Apesar das críticas iniciais de físicos com Albert Einstein e Erwin Schrödinger, a comunidade científica aderiu à complementaridade de Niels Bohr, encarando as críticas à teoria quântica como meras querelas filosóficas. O segundo período, compreendido entre os anos 1950 e 1970, constitui um período de transição marcado por fortes oposições à interpretação da complementaridade, das quais os melhores exemplos são provavelmente a teoria causal de David Bohm, a visão mentalística de Eugene Wigner e a teoria dos estados relativos de Hugh Everett (FREIRE JR., 2004). Embora essas propostas não tivessem sido amplamente aceitas na época, algumas dessas teorias foram redescobertas anos mais tarde, principalmente no contexto dos desenvolvimentos em Cosmologia.

O terceiro período, que se estende até os dias atuais, se caracteriza pela mudança de atitude por parte dos físicos, que passaram a reconhecer e legitimar a existência de uma controvérsia científica acerca da interpretação da mecânica quântica (FREIRE, 2003). A institucionalização desta controvérsia ocorreu através da criação de novos periódicos e congressos específicos para fomentar o debate. No contexto da Educação em Ciências, também é possível encontrar evidências dessa institucionalização. No início da década de 2000, a revista *Science & Education* promoveu um debate sobre os fundamentos da mecânica quântica, tendo como artigo de abertura um ensaio de Mario Bunge (2003) defendendo a tese de que a interpretação de Copenhague é falsa e precisa ser substituída por uma interpretação realista. Nesse mesmo ano, no Brasil, foi

publicado o livro *Conceitos de Física Quântica* de Osvaldo Pessoa Jr. (2003), em que o autor apresenta quatro formas básicas de interpretar a mecânica quântica. Alguns anos mais tarde, Nelson Pinto Neto (2010) lançou um livro intitulado *Teorias e Interpretações da Mecânica Quântica*, em que o autor argumenta que a visão de Copenhague é apenas uma maneira de compreender o mundo microscópico, sem qualquer superioridade sobre as demais.

No livro de Pessoa Jr. (2003), o autor constrói quatro grandes quadros interpretativos a partir da combinação de duas dimensões distintas de análise: a dimensão *ontológica* (corpuscular, ondulatória ou dual) e a dimensão *epistemológica* (fenomenalista ou realista). Na *interpretação corpuscular*, os objetos quânticos (elétrons, fótons, etc.) são partículas. Segundo essa interpretação, a mecânica quântica é essencialmente uma teoria estatística (descrição probabilística), de modo que seu formalismo só se aplica a ensembles e não a partículas individuais. Já na *interpretação ondulatória*, os objetos quânticos são pacotes de onda que oscilam no espaço-tempo. As detecções pontuais, nesse caso, são devido ao postulado quântico, isto é, à descontinuidade intrínseca que ocorre nos processos de troca de energia. Na *interpretação dualista-realista*, por sua vez, os objetos quânticos são partículas guiadas por uma onda-piloto. As partículas descrevem trajetórias definidas, porém desconhecidas, e a onda produz os efeitos de interferência e difração. Finalmente, na *interpretação da complementaridade*, conceitos clássicos de onda e de partícula são usados para explicar o comportamento dual dos objetos quânticos. Assim, o comportamento corpuscular ou ondulatório de fótons e elétrons, por exemplo, depende da configuração experimental, mas esses comportamentos nunca aparecem ao mesmo tempo.

É importante destacar que as interpretações mencionadas acima não representam mais um caso de diferentes representações para diferentes contextos, do mesmo tipo defendido por Linder (1993), Mortimer (1995) e outros autores. As diferentes representações, nesse caso, competem pelo *mesmo* domínio de aplicação, obrigando-nos a fazer uma escolha. Essa escolha, nem sempre consciente¹⁰, reflete os recursos textuais compartilhados pelos membros do grupo social do qual fazemos parte. Nesse sentido, falar sobre mecânica quântica significa necessariamente se posicionar em um dos lados do debate. As concepções, nesse caso, tornam-se palco de disputa e contestação entre pessoas, mais do que um corpo estruturado de conhecimentos que elas possuem.

Um exemplo de disputa e contestação em sala de aula

A título de ilustração, apresentamos um episódio de ensino ocorrido em 2011 em uma turma de terceiro ano do curso de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tal episódio ocorreu junto a uma disciplina que aborda temas de física moderna. Após uma sequência inicial de seminários, realizou-se, em dois encontros, uma intervenção

10 Com relação a isso, historiadores da ciência como Freire Jr. (2004) defendem a tese de que os físicos não aderiram conscientemente à complementaridade, mas, em vez disso, se concentraram em usar a maquinaria quântica para escrutinar o mundo microscópico.

didática em que foram discutidos conceitos de física quântica segundo a abordagem conceitual de Pessoa Jr. (2003). O objetivo dessa intervenção didática foi disponibilizar aos estudantes um conjunto de explicações alternativas para lidar com determinados fenômenos quânticos. Esse episódio é bastante ilustrativo de como processos de disputa e contestação podem emergir no contexto de sala de aula quando alunos são expostos a explicações científicas concorrentes.

Durante a intervenção didática foram discutidas questões relativas à dualidade onda-partícula, às diferentes interpretações da física quântica, à desigualdade de Bell e ao princípio de incerteza. A turma era constituída predominantemente de alunos do curso de licenciatura em Física, havendo apenas dois alunos do curso de bacharelado. Os dois encontros foram registrados em vídeo e os diálogos entre os sujeitos da pesquisa foram posteriormente transcritos para análise¹¹. Após uma longa explanação sobre o princípio de incerteza a partir das quatro interpretações propostas no livro *Conceitos de Física Quântica*, o professor da intervenção didática se envolveu em uma interação discursiva com Fábio (nome fictício)¹², um dos estudantes do curso de bacharelado em Física, conforme mostra a transcrição abaixo¹³.

(1) **Fábio:** “Professor. Pensando no princípio da incerteza com spin: no spin, você faz o experimento de Stern-Gerlach, aí você faz o teu ímã pra ele separar, fazer um split no z. Depois faz um split no x e novamente no z, né? Eu não vejo como a visão do ensemble [...] se encaixe nisso. A ideia de que o princípio de incerteza é intrínseco da natureza, eu acho que explicaria melhor esse experimento, porque você estaria medindo tanto o spin no eixo x e no z ao mesmo tempo, né?”

(2) **Professor:** “Bom. Pra quem lembrar [desenho um esquema do experimento de Stern-Gerlach no quadro negro], você tem um feixe aqui que você prepara num certo estado que eu vou chamar de spin na direção +x [...] Você colocando um experimento de Stern-Gerlach apontado na direção z, você vai ter uma probabilidade de 50% de medir algo aqui [apontando para o detector desenhado na parte superior do esquema representado no quadro negro] e 50% de medir algo aqui [apontando para o detector desenhado na parte inferior].”

Após explicar o princípio da incerteza no experimento de Stern-Gerlach para o grande grupo, o professor voltou a dirigir a palavra para Fábio.

(3) **Professor:** “Então tá. Esse é o experimento que você propôs, né?”

(4) **Fábio:** “Isso.”

11 É importante destacar que o episódio de ensino aqui relatado não representa um estudo empírico detalhado, com metodologia de análise bem definida. A construção de um instrumento analítico e o desenho de uma metodologia consistente com o modelo de distribuição conceitual constituem parte importante de um projeto de pesquisa, que neste ano de 2016 encontra-se em andamento.

12 O nome do estudante foi alterado para preservar sua identidade, conservando-se apenas o gênero.

13 Parte desta transcrição foi suprimida no intuito de tornar o texto mais claro e evitar que o mesmo ficasse excessivamente longo.

(5) **Professor:** “E agora, qual é o teu comentário?”

(6) **Fábio:** “Bom, do mesmo jeito que você tem incerteza com x e p , você tem incerteza nos spins, nas direções.”

(7) **Professor:** “Sim. Então aqui, por exemplo, o spin na direção z está bem definido.”

(8) **Fábio:** “Está bem definido.”

(9) **Professor:** “Mas o da direção x não está, né? Está mal definido, porque, na verdade, a gente pode escrever que o spin na direção z é uma soma de spins na direção x . Então, necessariamente se esse é bem definido, esse aqui já [interrompido].”

(10) **Fábio:** “É, mas o ensemble, naquela visão do ensemble, como é que ele determina essa incerteza? Porque se você pensar do mesmo jeito que... Bom, você tem o teu spin, né? Aquele spin é único e ele está lá. Eu vou medir ele para um x e um z .”

(11) **Professor:** “É.”

(12) **Fábio:** “E onde é que entraria minha estatística nisso? Por que... O jeito que eu penso na incerteza é que isso é intrínseco. Né? Então na hora que você faz a medida do z , você destrói o teu estado do x . Eu penso assim. Mas acho que o pessoal do ensemble não pode pensar assim, né?”

(13) **Professor:** “É, a história que eles têm contado é a seguinte: quando essa partícula está com spin na direção $+x$, na verdade ela tem spin na direção z bem definido também. A gente não sabe qual é o valor, mas ela tem.

(14) **Fábio:** “A gente não sabe, mas ela tem.”

(15) **Professor:** “Quer dizer, como a gente sabe do futuro [apontando para o esquema no quadro] a gente pode até escrever aqui $+z$. E aí, essa partícula vem naturalmente. Como ela já tem esse valor bem definido, ela vai cair aqui em cima.”

(16) **Fábio:** “Tá”.

(17) **Professor:** “Agora, obviamente... Quer dizer, como a gente sabe que aqui, depois, ela pode ser medida tanto em cima como embaixo, a gente não pode supor que ela vai manter o estado inicial. Ela pode mudar. Então essa interpretação, ela é obrigada a dizer que na interação com o aparelho, o aparelho pode modificar o estado do objeto. Quando chegou aqui e você mediu z , aconteceu por acaso que o x agora ficou $-x$. Ou seja, houve uma perturbação. As medições perturbam o sistema. Essa visão tem que aceitar isso. É verdade que nos anos 30 teve alguns autores, quando estavam ainda tateando nisso, que eles propuseram que esses valores eram bem definidos e que as medições apenas revelam, mas isso não basta. Você tem que supor também que a medição pode alterar o estado. Alterando o estado, agora quando chegou aqui, isso explica por que ele veio para $-x$. Mas, naturalmente, como houve outra medição, o estado do spin na direção z pode estar pra cima ou pra baixo. Aí vai depender do acaso. Então tá. Bem,

mas o que significa o princípio da incerteza pra eles? [...] A incerteza pra eles é o fato de que o $+z$ nunca, se eu fizer a estatística de vários elétrons, metade, mais ou menos, estará com $-z$ e, metade, estará com $+z$. Então, o princípio da incerteza para essa visão aqui da [interrompido]”.

(18) **Fábio:** “Sim, mas... Por que ele não considera que o spin no eixo x vai se conservar? Porque se ele considera que velocidades [interrompido].”

(19) **Professor:** “Vai dar errado! Porque se ele supuser isso, ele vai errar. Então seria uma versão muito ingênua. Claro, ela tem [interrompido]”

(20) **Fábio:** “Então, tu não podes medir velocidade e posição ao mesmo tempo. Se ele pensa que na hora de medir, tu vai interferir.”

(21) **Professor:** “É, eu concordo com você. Acho que é um bom argumento. Mas por quê? Talvez, na visão ondulatória tem uma maneira de explicar. Você está dando outra, que é ou não um ponto interessante que você está apresentando. Um argumento bom para [interrompido].”

(22) **Fábio:** “Eu, pra mim, eu joguei aquela terceira interpretação no lixo!”

No fragmento de discurso transcrito acima, é possível observar o encontro de duas concepções científicas concorrentes. Para entender a atuação discursiva de Fábio é importante salientar que, apesar de qualquer impressão que ele possa ter tido do contrário, ele não estava descrevendo a natureza tal como ela *‘realmente é’*, mas sim fornecendo uma *‘explicação’* sobre a natureza. Obviamente, existem aspectos de seu enunciado que pertencem ao jovem aluno de graduação, participando de um debate sobre física quântica em uma disciplina do curso de Física de sua universidade. Por outro lado, existem elementos do seu discurso que são típicos de pessoas que pertencem ao mesmo grupo social no qual ele faz parte.

Neste sentido, é possível ouvir as “vozes do bacharelado” em expressões típicas como “é intrínseco da natureza” (enunciado 01). Tal expressão reflete e reforça uma postura “ortodoxa, porém realista” (GRECA; FREIRE JR., 2004), assumida pela maioria dos físicos teóricos daquela instituição. Como é possível observar, essa expressão não aparece nos enunciados do professor da intervenção didática durante o diálogo. Além disso, podemos caracterizar a explicação de Fábio a partir dos conceitos que são incluídos em seus enunciados. Em vez de abordar o princípio de incerteza em termos das variáveis dinâmicas *posição e momento linear*, como tipicamente ocorre nos cursos de licenciatura em Física, Fábio introduziu o experimento de Stern-Gerlach para discutir esse princípio a partir das *componentes de spin*. Isso exigiu do professor da intervenção uma reorganização da explicação do princípio de incerteza no plano social da sala de aula (enunciado 02).

Outra forma de caracterizar a explicação de Fábio é através da relação estabelecida entre estes conceitos. Em sua explicação, a determinação de uma componente de spin, através da medição, *“destrói”* (enunciado 12) o estado das demais componentes. Na explicação do professor, o spin em cada direção é *“bem definido”* (enunciado 13),

porém desconhecido, e as interações com o aparelho de medição “*perturbam o sistema*” (enunciado 17). Além disso, as explicações de Fábio e do professor diferem em termos do “nível de descrição” utilizado. Na explicação de Fábio, o princípio da incerteza é usado para analisar *eventos individuais* (i.e., medições sucessivas das componentes de spin de uma única partícula) enquanto que na explicação do professor, o princípio de incerteza é usado para explicar a distribuição estatística de um *ensemble* (i.e., desvio padrão das medidas das componentes de spin de um número muito elevado de partículas). Assim, fica claro que Fábio e o professor da intervenção didática estavam se apoiando em recursos textuais distintos.

O mais surpreende no episódio transcrito acima, no entanto, é a reação de indignação de Fábio com relação à explicação dos coletivos estatístico. A afirmação de que “eu, pra mim, joguei aquela terceira interpretação no lixo” (enunciado 22) é bastante clara nesse sentido. Fica evidente que este episódio representa um caso de disputa e contestação sobre a realidade física que não pode ser reduzido à noção de “conflito semântico” ilustrado por Jay Lemke (1990), em que professor e aluno estabelecem diferentes relações semânticas entre os mesmos conceitos científicos. Nesse caso, a natureza do conflito é ideológica, pois retrata uma disputa sobre a natureza ontológica dos objetos quânticos. É interessante notar que a atitude de Fábio expressa uma posição valorativa em relação às explicações disponíveis no contexto sociocultural em questão. Isso sugere que os atos concretos de explicação envolvem não apenas dimensões lógicas, epistemológicas e ontológicas, como sugerem os estudos sobre a explicação científica, mas também uma dimensão *axiológica*.

Considerações Finais

No presente artigo, apresentamos um modelo sociocultural de mudança conceitual, baseado na noção de “distribuição conceitual”. De acordo com esse modelo, as concepções em ciências são mais bem entendidas como uma forma de ação mediada. Neste sentido, o conceber envolve uma “tensão irreduzível” (WERTSCH, 1998) entre agentes ativos e itens como tabelas periódicas, fórmulas matemáticas e explicações científicas. Esse modelo difere de outras teorias de mudança conceitual ao sugerir que diferentes grupos geram diferentes representações da realidade física. A partir dessa perspectiva, as concepções em ciências são vistas como um processo ativo que frequentemente envolve disputa e contestação entre pessoas, mais do que um corpo estruturado de conhecimentos que elas possuem.

Na primeira parte deste artigo, procuramos delinear nosso modelo de distribuição conceitual e apresentar implicações para a pesquisa em educação e ciências – em particular para os estudos das concepções alternativas e da mudança conceitual. Mostramos que os princípios desse modelo implicam uma mudança de foco que vai desde aspectos cognitivos (individuais) até processos sociais. A caracterização da explicação científica como ferramenta cultural (mais precisamente como gênero de discurso) nos permite relacionar uma ação individual a contextos socioculturais mais amplos a partir

da perspectiva geral ou visão de mundo (voz) adota – visão esta que é característica de um determinado grupo social. Além disso, esse modelo afirma que diferentes grupos podem gerar diferentes representações da realidade. Isso nos leva a entender melhor as diferenças entre concepções científicas e concepções alternativas, assim como diferentes perspectivas dentro de um determinado campo da ciência.

Na segunda parte desse artigo, procuramos ilustrar como concepções científicas podem servir como um palco de disputa e contestação entre pessoas, usando a física quântica como um caso em questão. Neste sentido, as concepções em física quântica servem como um laboratório natural para o estudo da distribuição social contestada. Na linha de desenvolvimento histórica, podemos notar que houve uma transição que vai desde um período de monocracia da escola de Copenhague até o período atual, em que a comunidade de físicos reconhece e legitima a existência de uma controvérsia científica acerca dos fundamentos da mecânica quântica (FREIRE JR., 2003). Já na linha de desenvolvimento microgenética, é possível observar como processos de disputa e contestação sobre a realidade física podem surgir quando estudantes com diferentes bagagens intelectuais são expostos a explicações científicas concorrentes. A atitude responsiva de Fábio com relação à explicação do professor só pode ser entendida se levarmos em consideração os recursos textuais que moldam a forma como ele fala e pensa sobre fenômenos quânticos. Em vez de simplesmente assumir que ele estava tentando provocar o professor, a questão fundamental, nesse caso, é: de onde Fábio tirou essas ideias? Essa pergunta pode tornar mais visível o processo de mediação textual que molda as diferentes representações que fazemos da realidade física.

Neste sentido, acreditamos que o processo de mediação textual deveria ser explicitamente abordado no contexto da sala de aula. No caso do ensino de física quântica, por exemplo, um dos problemas marcantes dessa linha de pesquisa é o fato de que o formalismo desta teoria está sujeita a mais de uma interpretação. Ao ignorar este fato, muitos pesquisadores têm formulado seus estudos em termos de concepções corretas e errôneas, o que pode trazer mais confusão para professores de Física em formação. Isso porque concepções consideradas corretas sob o ponto de vista de uma interpretação podem resultar “errôneas” do ponto de vista de outra e vice-versa. Talvez a solução para esse problema seja trazer a controvérsia para o ensino de física quântica ao invés de tentar eleger uma determinada interpretação como sendo a mais correta ou a mais consensual entre os físicos.

Particularmente no contexto da formação inicial de professores, acreditamos que os estudantes deveriam saber não apenas a “versão oficial” de uma determinada disciplina, mas serem expostos a outras visões, estudando-as seriamente por um tempo. Assim, poderemos contribuir para a formação de professores de ciências menos dogmáticos – no sentido kuhniano do termo (KUHN, 1963) – e, conseqüentemente, mais sensíveis a questões relativas a diferenças culturais. Por fim, esperamos fortemente que o modelo de distribuição conceitual aqui proposto possa representar um programa de pesquisa frutífero para as pesquisas em educação em ciências, em particular para os

estudos da mudança conceitual a partir de um enfoque sociocultural.

Agradecimentos

O autor desse trabalho agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio parcial à pesquisa (projeto Nº 441683/2014-2).

Referências

AIKENHEAD, G. S. Science education: Border crossing into the subculture of science. **Studies in Science Education**, Leeds, v. 27, n. 1, p. 1–52, 1996.

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

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

BIZZO, N. M. V. Misconceptions or social reconceptualizations? The case of evolutionary biology. In: Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca, 1993. NOVAK, J. (Org.). **Proceedings of...** Ithaca: Misconception Trust, 1993.

BUNGE, M. Twenty-five centuries of quantum physics: From Pythagoras to us, and from subjectivism to realism. **Science & Education**, Heidelberg, v. 12, n. 5–6, p. 455–466, 2003.

CARAVITA, S.; HALLDÉN, O. Re-framing the problem of conceptual change. **Learning and Instruction**, Oxford, v. 4, n. 1, p. 89–112, 1994.

CAREY, S. **Conceptual change in childhood**. Cambridge: MIT Press, 1985.

CLEMENT, J. Students' preconceptions in introductory mechanics. **American Journal of Physics**, Melville, v. 50, n. 1, p. 66–70, 1982.

DISESSA, A. A. Knowledge in pieces In: FOREMAN, G.; PUFALL, P. (Orgs.). **Constructivism in the computer age**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 1988. p. 49–70.

DISESSA, A. A. A history of conceptual change research: Threads and fault lines In: SAWYER, R. K. (Orgs.). **The Cambridge handbook of the learning sciences**. New York: Cambridge University Press, 2006. p. 265–281.

DISESSA, A. A.; GILLESPIE, N. M.; ESTERLY, J. B. Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. **Cognitive Science**, Indiana, v. 28, n. 6, p. 843–900, 2004.

DRIVER, R. **The representation of conceptual frameworks in young adolescent science students**. 1973. Tese (Doutorado) – Universidadede Illinois, Urbana, 1973.

DUIT, R.; TREAGUST, D. F. Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. **International Journal of Science Education**, London, v. 25, n. 6, p. 671–688, 2003.

DUSCHL, R. A.; GITOMER, D. H. Epistemological perspectives on conceptual change: Implications for educational practice. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 28, n. 9, p. 839–858, 1991.

ENGELHARDT, H. T.; CAPLAN, A. L. **Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology**. New York: Cambridge University Press, 1987.

FREIRE JR., O. A story without an ending: The quantum physics controversy 1950–1970. **Science & Education**, Heidelberg, v. 12, n. 5–6, p. 573–586, 2003.

FREIRE, JR. O. The historical roots of “foundations of quantum mechanics” as a field of research (1950–1970). **Foundations of Physics**, New York, v. 34, n. 11, p. 1741–1760, 2004.

GIERE, R. N. Controversies involving science and technologies: A theoretical perspective In: ENGELHARDT, H. T.; CAPLANA, L. (Orgs.). **Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology**. New York: Cambridge University Press, 1987. p. 49–91.

GRECA, I. M.; FREIRE, JR., O. Does an emphasis on the concept of quantum states enhance students’ understanding of quantum mechanics? **Science & Education**, Heidelberg, v. 12, n. 5-6, p. 541–557.

HEMPEL, C. G.; OPPENHEIM, P. Studies on the logic of explanation. **Philosophy of Science**, Chicago, v. 15, n. 2, p. 135–175, 1948.

HEWSON, P. W. A conceptual change approach to learning science. **European Journal of Science Education**, London, v. 3, n. 4, p. 383–396, 1981.

HUTCHINS, E. **Cognition in the wild**. Cambridge: MIT Press, 1995.

IVARSSON, J.; SCHOULTZ, J.; SÄLJÖ, R. Map reading versus mind reading: Revisiting children’s understanding of the shape of the earth In: LIMÓN, M; MASON, L.(Orgs.) **Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 77–99.

JAMMER, M. **The philosophy of quantum mechanics: The interpretations of quantum mechanics in historical perspective**. New York: John Wiley & Sons, 1974.

KAUFMAN, D. R.; KESELMAN, A.; PATEL, V. L. Changing Conceptions in Medicine and Health. In: VOSNIADOU, S. (Org.). **International handbook of research on conceptual change**. New York: Routledge, 2008. p. 295–327.

KELLY, G. J.; GREEN, J. The social nature of knowing: Toward a sociocultural perspective on conceptual change and knowledge construction. In: GUZZETTI, B.; HYND, C.

(Orgs.). **Perspectives on conceptual change: multiple ways to understand knowing and learning in a complex world.** New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1998. p. 145–182.

KITCHER, P. Explanatory unification and the causal structure of the world. In: KITCHER, P.; SALMON, W. C. (Orgs.). **Minnesota studies in the philosophy of science: v. XIII. Scientific explanation.** Minneapolis, University of Minnesota Press, 1989. p. 410–499.

KRAGH, H. A sense of history: history of science and the teaching of introductory quantum theory. **Science and Education**, New York, v. 1, n. 4, p. 349–363, 1992.

KRANGE, I. Students’ conceptual practices in science education: Productive disciplinary interactions in a participation trajectory. **Cultural Studies of Science Education**, New York, v. 2, n. 1, p. 171–203, 2007.

KUHN, T. S. The Function of Dogma in Scientific Research. In: CROMBIE, A. C. (Org.). **Scientific change: Historical studies in the intellectual, social, and technical conditions for scientific discovery and technical invention, from antiquity to the present.** London: Heinemann Educational Books, 1963. p. 347–369.

KUHN, T. S. **The structure of scientific revolutions.** 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 1970.

LIMÓN, M. Conceptual Change in History. In: LIMÓN, M.; MASON, L. (Orgs.). **Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 259–289.

LINDER, C. J. A challenge to conceptual change. **Science Education**, Hoboken, v. 77, n. 3, p. 293–300, 1993.

LOTMAN, Y. M. Text within a text. **Soviet Psychology**, Moscou, XXVI, n. 3, p. 32–51, 1988.

MASON, L. Introduction: bridging the cognitive and sociocultural approaches in research on conceptual change: Is it feasible? **Educational Psychologist**, Washington D. C., v. 42, n. 1, p. 1–7, p. 259–289.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education**, Heidelberg, v. 3, n. 3, p. 267–285, 1995.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 20–39, 1996.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 107–126, 2002.

PEREIRA, A. P. **Distribuição conceitual no ensino de física quântica: uma aproximação sociocultural às teorias de mudança conceitual.** 2012. 188f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre, 2012.

- PESSOA JR., O. **Conceitos de física quântica**. São Paulo: Livraria da Física, 2003.
- PINTO NETO, N. **Teorias e interpretações da mecânica quântica**. São Paulo: Livraria da Física, 2010.
- PINTRICH, P. R.; MARX, R. W.; BOYLE, R. A. Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. **Review of Educational Research**, Washington D. C., v. 63, n. 1, p. 167–199, 1993.
- POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education**, Hoboken, v. 66, n. 2, p. 211–227, 1982.
- POZO, G. J. Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 17, n. 3, p. 513–520, 1999.
- POZO, J.; GÓMEZ, M.; SANZ, A. When change does not mean replacement: Different representations for different contexts. In: SCHNOTZ, W.; VOSNIADOU, S.; CARRETERO, M. (Orgs.). **New perspectives on conceptual change**. Amsterdam: Pergamon, 1999. p. 161–174.
- ROTH, W. M.; LEE, Y. J.; HWANG, S. Culturing conceptions: From first principles. **Cultural Studies of Science Education**, New York, v. 3, n. 2, 231–261, 2008.
- SÄLJÖ, R. Concepts, cognition and discourse: From mental structure to discursive tools. In: SCHNOTZ, W.; VOSNIADOU, S.; CARRETERO, M. (Orgs.). **New perspectives on conceptual change**. Amsterdam: Pergamon, 1999. p. 81–90.
- SFARD, A. On two metaphors for learning and the danger of choosing just one. **Educational Researcher**, Washington D. C., v. 27, n. 2, p. 4–13, 1998.
- SFARD, A. Reconceptualizing conceptual change. In: VOSNIADOU, S.; BALTAS, A.; VAMVAKOUSSI, X. (Orgs.). **Re-framing the conceptual change approach in learning and instruction**. Oxford: Elsevier, 2007. p. 329–334.
- SOLOMON, J. Learning about energy: how pupils think in two domains. **European Journal of Science Education**, London, v. 5, n. 1, p. 49–59, 1983.
- SPADA, H. Conceptual change or multiple representations? **Learning and Instruction**, Oxford, v. 4, n. 1, p. 113–116, 1994.
- TOBIN, K. In search of new light: Getting the most from competing perspectives. **Cultural Studies of Science Education**, New York, v. 3, n. 2, p. 227–230, 2008.
- VIGOTSKI, L. S. O método instrumental em psicologia In: _____. **Teoria e método em psicologia**. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2004. p. 93–102.
- VILLANI, A. Conceptual change in science and science education. **Science Education**, Hoboken, v. 76, n. 2, p. 223–237, 1992.

- VOSNIADOU, S. The cognitive-situative divide and the problem of conceptual change. **Educational Psychologist**, Washington D. C., v. 42, n. 1, p. 55–66, 2007a.
- VOSNIADOU, S. The conceptual change approach and its re-framing. In: VOSNIADOU, S.; BALTAS, A.; VAMVAKOUSSI, X. (Orgs.). **Re-framing the conceptual change approach in learning and instruction**. Oxford: Elsevier, 2007b. p. 1–15.
- VOSNIADOU, S. **International handbook of research on conceptual change**. 2. ed. New York: Routledge, 2013.
- VOSNIADOU, S.; BREWER, W. F. Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. **Cognitive Psychology**, Amsterdam, v. 24, n. 4, p. 535–585, 1992.
- VOSNIADOU, S.; VERSCHAFFEL, L. Editorial: Conceptual change approach to mathematics learning and teaching. **Learning and Instruction**, Oxford, v. 14, n. 5, p. 445–451, 2004.
- VYGOTSKY, L. S. The genesis of higher mental functions. In: WERTSCH, J. V. (Org.). **The concept of activity in Soviet psychology**. Armonk: Sharpe, 1981. p. 144–188.
- VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1994.
- VYGOTSKY, L. S.; LURIA, A. R. **Estudos sobre a história do comportamento: o macaco, o primitivo e a criança**. Porto Alegre: ARTMED, 1996.
- WERTSCH, J. V. **Vygotsky and the social formation of mind**. Cambridge: Harvard University Press, 1985.
- WERTSCH, J. V. **Voices of the mind: A sociocultural approach to mediated action**. Cambridge: Harvard University Press, 1991.
- WERTSCH, J. V. **Mind as action**. New York: Oxford University Press, 1998.
- WERTSCH, J. V. **Voices of collective remembering**. New York: Cambridge University Press, 2002.
- WERTSCH, J. V. Mediation. In: DANIELS, H.; COLE, M.; WERTSCH, J. V. **The Cambridge Companion to Vygotsky**. New York: Cambridge University Press, 2006. p. 178–192.
- WERTSCH, J. V. The narrative organization of collective memory. **Ethos**, Urbana, v. 36, n. 1, p. 120–135, 2008.
- WICKMAN, P.-O.; ÖSTMAN, L. Learning as discourse change: A sociocultural mechanism, **Science Education**, v. 86, n. 5, p. 601–623, 2002.

Alexsandro Pereira de Pereira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Departamento de Física
Porto Alegre, Brasil
Alexsandro.pereira@ufrgs.br

Recebido em 17 de agosto de 2015
Aceito para publicação em 26 de setembro de 2016