



## **PENSAMENTO CIENTÍFICO EMPREGADO EM TAREFAS DE FÍSICA BÁSICA**

*Scientific thinking employed in tasks of introductory physics*

**Alexandre Fagundes Faria** [affaria@ufmg.br]

*Colégio Técnico da Escola de Educação Básica e Profissional (COLTEC)  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627. Pampulha. Belo Horizonte (MG)*

**Arnaldo de Moura Vaz** [arnaldovaz@ufmg.br]

*Col. Téc. da Escola de Ed. Básica e Profissional (COLTEC) e Programa de Pós-Graduação em Educação  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627. Pampulha. Belo Horizonte (MG)*

### **Resumo**

No Ensino de Ciências, mais especificamente no Ensino de Física, há estratégias instrucionais baseadas em pesquisa que são reconhecidas por seu potencial de promover o desenvolvimento conceitual. É possível que muitas dessas estratégias instrucionais levem a aprendizagens mais elaboradas que promovam, por exemplo, o desenvolvimento do pensamento científico. O pensamento científico pode ser definido como constituído por conhecimentos de domínio específico e por estratégias de domínio geral. Investigamos quais estratégias de domínio geral estudantes empregaram em tarefas de uma atividade didática sobre dinâmica newtoniana inspirada pelos “Tutoriais de Física Introdutória”. Participaram 19 estudantes de 15 a 17 anos dos cursos técnicos de nível médio em eletrônica e informática de uma escola técnica federal brasileira. As atividades didáticas propostas aos estudantes são parte regular do curso de Física há sete anos. Nesse sentido, não se preparou intervenção especial para o desenvolvimento da pesquisa. A coleta de dados envolveu gravações em áudio e vídeo de grupos de estudantes; notas de observação de campo; e fotografias de cadernos dos estudantes e de pôsteres elaborados para apresentação em classe. A análise dos dados baseou-se na categorização das estratégias de raciocínio. Os resultados indicam o uso de quatro estratégias de domínio geral pelos estudantes nas tarefas que lhes foram propostas: raciocínio baseado em evidência, avaliação de linha de raciocínio, raciocínio com definição operacional e raciocínio hipotético-dedutivo. Esses resultados sugerem que atividades inspiradas pelos “Tutoriais de Física Introdutória” favorecem aprendizagens de conceitos científicos e aprendizagens ainda mais elaboradas. Coloca-se como demanda para a área de pesquisa a necessidade de refinamento das estratégias de coleta e de análise de dados como forma de identificar o uso de outras estratégias de domínio geral pelos estudantes em contextos semelhantes, assim como a ampliação da investigação para outros contextos escolares.

**Palavras-Chave:** pensamento científico; estratégias de raciocínio; grupos de aprendizagem; Tutoriais de Física Introdutória.

### **Abstract**

In Science Education, notably in Physics Teaching, there are research based instructional strategies that are renown by their potential to promote conceptual development. It is likely that many of these strategies lead to more elaborate learning; promoting, for instance, scientific thinking development. Scientific thinking might be construed as the sum of domain-specific knowledge and domain-general strategies. Here is reported an investigation of domain-general strategies used by students on tasks proposed in a Newtonian Dynamics activity inspired by “Tutorials in Introductory Physics”. Nineteen volunteers, aged 15-17, participated; all were students in electronics or computer science from a Brazilian vocational high school. The school activities proposed to the students have been regularly used in the Physics course for seven years. Therefore, there was no special interventions prepared with research purposes. Data collection involved audio and video recordings of students’ teamwork; field notes; and photographs of student’s notebooks and of posters teams presented in classes. Data analysis was based on categorization of domain-general strategies used by students. We found that students used four domain-general strategies on the proposed tasks: evidence-

based reasoning, assessment of the reasoning line, reason based on operational definition and hypothetic-deductive reasoning. These findings suggest that activities inspired by the “Tutorials in Introductory Physics” favor the learning of scientific concepts plus further – and yet more elaborate – learning. These results place a demand on the field of Science Education to refine the strategies of data collection and data analysis as a way to identify the use of other domain-general strategies by students in similar contexts, as well as the expansion of research to other schools contexts.

**Keywords:** scientific thinking; reasoning strategies; learning group; Tutorials in Introductory.

## INTRODUÇÃO

Vivemos uma época em que se produz quantidades enormes de conhecimento e na qual se encontra facilidade de acesso a todo tipo de informação. Um dos efeitos disso na educação em ciências é a demanda por um ensino que não fomente apenas a aprendizagem de conceitos e teorias científicas, mas também tenha como objetivos: o desenvolvimento de estratégias de raciocínio; da habilidade de buscar, selecionar e tratar informações; de trabalhar em equipe; de solucionar problemas complexos; entre outras (AAAS, 1990; Brasil, 1996; 2013; Choi, Hand & Greenbowe, 2012; Ding, Wei, & Mollohan, 2014; Fensham, 2012; Mansilla & Jackson, 2011; NRC, 2013; Pozo & Creso, 2009; Vieira, Tenreiro-vieira, & Martins, 2011). Esse efeito tem implicações para a pesquisa em Ensino de Ciências e nos levou a questionar: que estratégias gerais de raciocínio associadas às atividades de cunho científico são mobilizadas por estudantes para a resolução de tarefas de Física estabelecidas numa atividade didática orientada pela pesquisa em ensino?

Como estudioso de revoluções científicas contemporâneas, Michel Serres (2013) nota que, há algum tempo, as aulas destinadas a transmitir informação ou apresentar conceitos passaram a ser ruidosas da educação infantil ao ensino superior. Temos para nós que o ruído feito pelos estudantes tanto pode indicar rebeldia e descontentamento com a maneira como a aula é conduzida, quanto indicar engajamento em atividades que promovem seu desenvolvimento, sobretudo suas capacidades de análise, crítica e decisão. Enquanto a primeira hipótese remete a questões curriculares e de gestão escolar, a segunda remete a questões de pesquisa em ensino. Neste trabalho consideramos a segunda hipótese.

As questões “o que ensinar?”, “em que sequência?” e “de que maneira?” são questões curriculares e de gestão de aula permanentemente abertas. Desde 1999, nós e colegas temos criado estratégias e atividades didáticas para promover o engajamento comportamental, emocional e cognitivo de estudantes nas aulas de Física da escola em que lecionamos e em que coletamos os dados da pesquisa que apresentamos neste artigo (Vaz, 2016). De lá pra cá, reunimos resultados empíricos que revelam que temos sido bem sucedidos a esse respeito (Borges & Gomes, 2005; Borges, Borges & Vaz, 2005; Coelho, 2011; Faria, 2008, 2016; Julio & Vaz, 2007; Julio, Vaz & Fagundes, 2011; Julio, Vaz & Borges, 2009; Julio, 2009). Isso, por um lado, é uma evidência de que temos dado boas respostas a essas questões curriculares. Contudo, esse nosso percurso no campo do ensino e no campo da pesquisa nos permitiu tomar consciência do pouco interesse da comunidade de pesquisa em Ensino de Ciências em ir além da aprendizagem de conceitos e teorias (em especial, daqueles que se dedicam ao Ensino de Física). Ainda é pequeno o número de investigações sobre os objetivos curriculares mais amplos, que decorrem da explosão do conhecimento e da expansão do acesso à informação, característicos de nossa época.

Intriga-nos, de maneira especial, um caso notório: o dos “Tutoriais de Física Introdutória” elaborados por Lillian McDermott, Peter Shaffer e parceiros do Grupo de Ensino de Física da Universidade de Washington/Seattle – GEF/UW (McDermott & Shaffer, 1998). Esse material didático é fruto de uma estratégia de ensino baseada no conhecimento acumulado pela pesquisa em Ensino de Física. Eles foram escritos para que estudantes universitários do ciclo básico tivessem uma compreensão funcional dos conceitos fundamentais da Física e para que desenvolvessem um conjunto de estratégias e habilidades de raciocínio científico. Com o advento do “Inventário do Conceito de Força” (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992), a estratégia do GEF/UW ganhou notoriedade: estatisticamente os estudantes da Universidade de Washington demonstraram ter um domínio conceitual que nenhuma outra universidade conseguiu propiciar. A partir daí, vários professores adotaram os tutoriais e vários grupos de ensino conduziram investigações sistemáticas sobre o efeito desse material em diferentes estudantes, no contexto de diferentes atividades de ensino desenvolvidas com base nesse material. Todos, indistintamente, evidenciam o potencial que as atividades pautadas por esses materiais têm em promover o desenvolvimento conceitual de estudantes (Cruz et al., 2010; Finkelstein & Pollock, 2005; Heron et al., 2003; Keller et al., 2005; Lorenzo, Crouch, & Mazur, 2006; Pollock, 2005; Pollock, Finkelstein, & Kost, 2007; Shaffer & McDermott, 2005; Slezak et al,

2011). Inclusive, há resultados de pesquisa que mostram que a adaptação de atividades didáticas inspiradas pelos tutoriais no contexto do Ensino Médio é promissora do mesmo modo e pela mesma razão (Benegas, 2007; Faria, 2016; Flores & Benegas, 2008; Tuyarot & Eiras, 2011).

Curiosamente, essas pesquisas se atêm aos conhecimentos de domínio específico dos estudantes. Os autores das pesquisas a respeito dos tutoriais só abordaram os efeitos das atividades didáticas fomentadas por esse material no domínio conceitual e teórico da física. Nos contextos educacionais onde os “Tutoriais de Física Introdutória” são usados regularmente, não se conduziu pesquisas sobre o desenvolvimento de estratégias de raciocínio; da habilidade de buscar, selecionar e tratar informações; de trabalhar em equipe; de solucionar problemas complexos, etc. Isto é curioso se considerados três aspectos desse fenômeno: primeiro, os próprios idealizadores dos tutoriais sinalizam que essas outras aprendizagens que vão além do desenvolvimento conceitual foram consideradas na constituição dos mesmos, o que indica que elas poderiam ser favorecidas nas atividades inspiradas por esse material; segundo, em nossa experiência docente pudemos identificar nas aulas inspiradas pelos tutoriais que nossos estudantes se engajam, colaboram com os colegas e mobilizam estratégias diversas para a resolução das tarefas propostas; terceiro, há quase duas décadas as pesquisas sobre os tutoriais mostram resultados invariáveis, pois abordam fenômenos semelhantes: atividades didáticas inspiradas pelos tutoriais são mais promissoras em relação ao desenvolvimento conceitual que as atividades didáticas ditas tradicionais (aulas expositivas, por exemplo). Ou seja, as pesquisas não avançaram, não exploraram “fenômenos novos”.

Há tempos nos empenhamos em investigar questões relacionadas à mobilização e ao desenvolvimento do pensamento científico de estudantes em aulas de Física de uma escola técnica de nível médio em que são desenvolvidas atividades inspiradas em pesquisa como é o caso dos tutoriais (Faria, 2016; Julio & Vaz, 2007; Julio, Vaz & Fagundes, 2011; Julio, Vaz & Borges, 2009). Neste trabalho, buscamos responder a seguinte questão: Quais estratégias de domínio geral os estudantes mobilizam em aulas de Física em que são desenvolvidas atividades didáticas inspiradas pelos “Tutoriais de Física Introdutória”?

## **PENSAMENTO CIENTÍFICO**

O pensamento científico empreendido por crianças, adolescentes e adultos tem sido objeto de interesse da Psicologia e da área de Pesquisa em Ensino de Ciências. As definições para o pensamento científico oriundas das pesquisas nessas áreas focalizam estratégias gerais de raciocínio e de resolução de problemas comumente associadas às atividades de cunho científico-tecnológico. Elas são denominadas estratégias gerais, pois também podem ser utilizadas por pessoas em situações cotidianas, fora do contexto científico (Dunbar & Fugelsang, 2005; Dunbar & Klahr, 2012; Kuhn & Pearsall, 2000). Contudo, não há consenso sobre essa generalidade (Ritchhart & Perkins, 2005). Para Dunbar e Klahr (2012) e Kuhn e Pearsall (2000), o que diferencia a mobilização de estratégias de domínio geral no campo da ciência da mobilização dessas estratégias fora do campo da ciência são o rigor conceitual e a consciência envolvida no uso das mesmas.

Com base nessa literatura, consideramos que o pensamento científico é constituído pela inter-relação de conhecimentos de domínio específico e de estratégias de domínio geral. Os conhecimentos de domínio específico se referem, por exemplo, aos conceitos e teorias científicas. As estratégias de domínio geral estão envolvidas na elaboração de raciocínio baseado em evidência, de raciocínio por analogia, de raciocínio hipotético-dedutivo, entre outros. Esses conhecimentos e estratégias são mobilizados em processos de (re)elaboração de ideias, conceitos e teorias sobre fenômenos físicos para resolução das mais variadas tarefas (Borges, 2006; Borges, Borges, & Vaz, 2005; Dunbar & Fugelsang, 2005; Dunbar & Klahr, 2012; Julio & Vaz, 2007; Klahr, Zimmerman, & Jirout, 2011; Kuhn, Amsel, & O’Loughlin, 1988; Kuhn & Pearsall, 2000; Zimmerman, 2000; Zimmerman, 2007). Como alertam Klahr e Dunbar (1988), os conhecimentos de domínio geral e as estratégias de domínio específico são indissociáveis. Aqueles exercem influência direta sobre as possibilidades de mobilização destas.

Há um conjunto de trabalhos que discutem ou apresentam resultados que mostram que o uso por estudantes de estratégias de domínio geral para realizar tarefas ou solucionar problemas depende do domínio de conceitos relacionados às tarefas e aos problemas em questão. Diferentes trabalhos estabelecem essa relação com diferentes estratégias de domínio geral: Kassemboehmer e Ferreira (2013) e Mulder, Lazonder e de Jong (2010) olham para a formulação e teste de hipóteses; Almudi e Ceberio (2014) e Lin (2014) focam na argumentação; e Valanides, Papageorgiou e Angeli (2013) na coordenação entre teoria e evidência.

O trabalho de Marusic e Slikso (2012) reforça a tese da dependência ao mostrar que certas experiências no domínio conceitual favorecem o desenvolvimento de estratégias de raciocínio de domínio geral. Mais especificamente, esses autores observaram que estratégias de ensino que demandam a discussão de conceitos entre os estudantes, levando-os a vivenciar situações de conflito cognitivo, são mais promissoras no que diz respeito ao desenvolvimento de estratégias de raciocínio de domínio geral associadas ao pensamento lógico-formal piagetiano.

Outros trabalhos indicam que estudantes que dominam e utilizam certas estratégias de domínio geral se desenvolvem mais do ponto de vista conceitual. Choi, Hand e Greenbowe (2012) acentuam que há correlação positiva entre a qualidade dos argumentos produzidos por estudantes e o desempenho final em duas disciplinas: química geral e laboratório de química geral. Coletta e Phillips (2005) e Nieminen, Savinainen e Viiri (2012) reportam que há “variáveis ocultas” que podem explicar o sucesso na aprendizagem conceitual por estudantes. Por exemplo, há correlação positiva entre a capacidade de mobilizar estratégias de raciocínio de domínio geral medidas por testes como o de Lawson (1978; 1982) e a aprendizagem dos princípios da dinâmica aferida a partir do “Inventário do Conceito de Força” (Hestenes et al., 1992). Mashood e Singh (2013) preconizam que algumas dessas estratégias de domínio geral desenvolvidas em aulas de Física têm impacto positivo sobre o desempenho na resolução de problemas em outras áreas de conhecimento como a Química e a Matemática.

Cabe salientar que o pensamento científico não se restringe a conhecimentos de domínio específico e estratégias de domínio geral. Criatividade, intuição, valores, idiosincrasias, coincidências, perspicácia, entre outros elementos também estão envolvidos na estruturação do pensamento e da própria atividade científica. Por essa razão, Al-Ahmadi e Reid (2011) enfatizam que não há uma definição única e precisa que se ajuste às diferentes manifestações do pensamento científico, o que ajuda a compreender o caráter multifacetado das definições de pensamento científico adotadas nas pesquisas. Isso é coerente com a noção de que não há um padrão ou um “método científico” único usado pela comunidade científica (Al-Ahmadi & Reid, 2011; Gil-Pérez et al., 2001; Kasseboehmer & Ferreira, 2013; Lawson, 2010; Maia & Justi, 2008; Millar & Lubben, 1996; Tang et al, 2010).

Por essa razão, não buscamos estabelecer um retrato de como um cientista age e pensa. Também não vamos definir o pensamento científico a partir da proposição de um “método” de investigação universal. Isso foge completamente ao escopo deste trabalho, além de não se constituir como uma boa representação do que é o pensamento científico. Não vamos nos aprofundar em questões sobre filosofia, epistemologia ou natureza da ciência pois este é um estudo sobre aprendizagem de física em um curso introdutório. O debate sobre essas questões, contudo, está muito presente no campo da Pesquisa em Ensino de Ciências (Abd-El-Khalick, Bell, & Lederman, 1998; Gil-Pérez et al., 2001; Hodson, 1986; Hodson, 1985; Hodson & Wong, 2014; McComas, 2002; Praia, Cachapuz, & Gil-Pérez, 2002).

Consideramos que existem certas estratégias de domínio geral que são associadas ao trabalho intelectual de quem lida no campo das Ciências Naturais, mas que não são exclusivas desse campo. Essas estratégias podem ser estimuladas em aulas de Ciências, de modo que estudantes utilizem-nas em tarefas escolares que lhes são propostas. O foco da investigação cujo resultado apresentamos neste artigo reside na identificação e na caracterização de estratégias desse tipo usadas por estudantes em um conjunto específico de tarefas de Física.

### **Pensamento científico nas pesquisas em Ensino de Ciências**

Muitos dos trabalhos que investigam a mobilização e o desenvolvimento de estratégias de domínio geral pelos estudantes não utilizam o termo *pensamento científico*. Contudo, na área de Pesquisa em Ensino de Ciências, há vários trabalhos em que o objeto de interesse se relaciona ao pensamento científico, conforme a definição que utilizamos. Três dos objetos de interesse mais diretamente relacionados ao pensamento dos estudantes nas tarefas inspiradas pelos Tutoriais de Física Introdutória (McDermott & Shaffer, 1998) são: argumentação, raciocínio baseado em evidência e raciocínio hipotético-dedutivo.

Argumentação, como definida por Jiménez-Aleixandre e Bustamante (2003, p. 361), é a “capacidade de relacionar dados e conclusões, de avaliar enunciados teóricos à luz de dados empíricos ou procedentes de outras fontes”. Osborne (2010) salienta que a elaboração e avaliação de argumentos estão na base do processo de construção do conhecimento científico.

Vários trabalhos se propõem a abordar a argumentação de estudantes na resolução de tarefas escolares (Bulgren, Ellis, & Marquis, 2013; Iordanou & Constantinou, 2015; Osborne et al, 2013; Sampson & Clark, 2009; Tang et al., 2010). A maioria avalia a qualidade dos argumentos produzidos por estudantes.

Geralmente, eles tomam como base o modelo de Toulmin (1958). Há também trabalhos que buscam avaliar a influência do contexto – por exemplo, pelo desenvolvimento de atividades diversas, algumas especialmente criadas com propósito de pesquisa – na qualidade dos argumentos produzidos por estudantes. Os resultados apresentados indicam que certas intervenções educacionais que estabelecem cenários educacionais desafiadores e que demandam a exposição de ideias têm o potencial de promover a capacidade argumentativa (Kulatunga, Moog, & Lewis, 2013; Locatelli & Carvalho, 2007; Osborne, Erduran, & Simon, 2004; Osborne et al., 2013; Yun & Kim, 2014). Esses resultados nos fazem pensar que intervenções educacionais com esse potencial podem favorecer também a mobilização e o desenvolvimento do pensamento científico de estudantes.

Diante da abundância de trabalhos que se propõem a avaliar a qualidade de argumentos em situações de sala de aula, não nos propusemos a esse tipo de avaliação. Consideramos que poderíamos contribuir para a área se analisássemos as argumentações com outro interesse. Para nós, os processos argumentativos são importantes, pois podem gerar dados sobre a mobilização do pensamento científico dos estudantes. Isso porque é pela argumentação que os estudantes mobilizam esse tipo de pensamento (Gilbert, Garcia-Mila, & Felton, 2013; Jiménez-Aleixandre & Bustamante, 2003; Katchevich, Hofstein, & Mamlok-Naaman, 2013; Osborne et al., 2004; Sampson & Clark, 2008). Embora não consideramos a argumentação uma estratégia de domínio geral em si, pela análise da argumentação tem-se a chance de identificar o uso e o desenvolvimento de estratégias de domínio geral (Sampson & Clark, 2008).

O raciocínio baseado em evidência também é um objeto de interesse frequente na área de pesquisa em Ensino de Ciências. As pesquisas da área sobre esse tema geralmente abordam a coordenação entre teoria e evidência feita por estudantes tanto da Educação Básica, quanto da Educação Superior. Esse tipo de abordagem parece ter sido induzida por trabalhos precursores e influentes como os de Kuhn (1989) e Kuhn, Amsel e O’Loughlin (1988), que consideram a coordenação entre teoria e evidência como a essência do pensamento científico.

A coordenação entre teoria e evidência envolve a avaliação de hipóteses iniciais com base em resultados de experimentos planejados para esse fim. A partir disso, essas hipóteses iniciais são aceitas, reformuladas e novamente testadas ou rejeitadas (Valanides, Papageorgiou, & Angeli, 2013). As atividades didáticas que envolvem a coordenação de teoria e evidência são ricas em processos de elaboração e avaliação de argumentos. Não é por acaso que trabalhos tomam processos argumentativos com o intuito de investigar aspectos da coordenação entre teoria e evidência (Almudi & Ceberio, 2014).

Kuhn (1989) alerta que a estratégia de domínio geral de coordenação entre teoria e evidência realmente ocorre quando o estudante é capaz de distinguir teoria de evidência para só então relacioná-las. Pensada sobre esse ponto de vista, essa estratégia de domínio geral é cognitivamente muito exigente. Mesmo assim, alguns estudos identificaram o uso dessa estratégia por estudantes de quatro a seis anos (Piekný, Grube, & Maehler, 2014; Tytler & Peterson, 2003). Há também estudos sobre a estratégia de coordenar teoria e evidência com estudantes de outros níveis de ensino. Por exemplo, com estudantes do Ensino Fundamental (Paula & Borges, 2007; Valanides et al., 2013); do Ensino Médio (Iordanou & Constantinou, 2015); e da Educação Superior (Almudi & Ceberio, 2014; Waldrip & Waldrip, 2014). Em geral, essas pesquisas mostram que a coordenação entre teoria e evidência é uma estratégia de difícil mobilização, mas que pode ser desenvolvida a partir de atividades apropriadas.

Neste trabalho, quando usamos a expressão *raciocínio baseado em evidência*, não fazemos referência à coordenação entre teoria e evidência, mas a todas outras iniciativas em que os estudantes destacam algum tipo de evidência na tentativa de embasar seus argumentos. Essas iniciativas podem ser mais básicas que a estratégia de coordenar teoria e evidência, mas nem por isso menos importantes. Elas são fundamentais para que a estratégia de coordenação venha se desenvolver. Apesar disso, são raros os estudos que investigam os raciocínios baseados em evidência mais elementares, como fazemos em nosso trabalho. Também são poucas e isoladas as iniciativas de promover atividades didáticas nos diversos níveis de ensino que contribuam para o desenvolvimento desse tipo de estratégia de domínio geral. E isso não é de hoje. Paula e Borges (2007), há quase 10 anos, já chamavam a atenção para essa questão. Parece-nos que pouco mudou de lá para cá.

Dos objetos de interesse mais frequentes nas pesquisas em ensino, resta a terceira estratégia de domínio geral. Arnold Arons, veterano do grupo que desenvolveu os “Tutoriais de Física Introdutória”, define o raciocínio hipotético-dedutivo como aquele no qual se empregam ideias gerais, leis e teorias para prever o comportamento de um sistema, tendo condições particulares como ponto de partida: “[...] *dada uma situação particular, aplicar conhecimentos relevantes de princípios e restrições e visualizar, no abstrato, os resultados plausíveis que podem surgir de várias mudanças que alguém possa imaginar impor sobre o*

*sistema*” (Arons, 1996, p. 381). Autor influente nesse domínio, Lawson (2000; 2003; 2010) considera que o raciocínio hipotético-dedutivo é uma marca do pensamento científico. Essa proposição decorre da análise de casos notáveis de processos de investigações científicas. Para esse autor, o raciocínio hipotético-dedutivo é caracterizado pelo padrão “se... e... então... e/mas... portanto...” ou, de maneira simplificada, pelo padrão “se... então... portanto...”. O termo “se” refere-se à formulação de hipótese “e” à apresentação de proposições adicionais ou de testes, “então” está associado às previsões; “e/mas” envolve os resultados observados em perspectiva; e “portanto” diz respeito às conclusões.

A caracterização do raciocínio hipotético-dedutivo de Lawson, em conjunto com o modelo de estrutura de argumentos de Toulmin (1958), foi empregada por Locatelli e Carvalho (2007) para avaliar se a estrutura hipotético-dedutiva é utilizada por crianças das séries iniciais na resolução de problemas de conhecimento físico. Os resultados mostram que, ao longo de uma atividade, o raciocínio hipotético-dedutivo desenvolve-se progressivamente até atingir a estrutura completa proposta por Lawson. Atribui-se esse desenvolvimento aos estímulos criados pela professora durante a resolução dos problemas que compunham a atividade e à dinâmica de trabalho nos pequenos grupos.

O conceito de raciocínio hipotético-dedutivo também foi usado no desenvolvimento e na avaliação de estratégias e materiais instrucionais. Lee e Park (2013) desenvolveram o que denominam *tarefas de explicação dedutiva* como maneira de ensinar os princípios da dinâmica newtoniana. Eles avaliaram o desenvolvimento que a resolução dessas tarefas propicia aos estudantes. As *tarefas de explicação dedutiva*, baseadas no esquema “se... então... portanto...”, apresentam informações sobre o movimento de um corpo para os estudantes identificarem a direção e o sentido da força resultante que atua sobre ele. Os resultados mostram que essas tarefas ampliam a confiança e o interesse dos estudantes. Também fica evidente a qualidade das *tarefas de explicação dedutiva* de levar os estudantes ao desenvolvimento conceitual.

Foram detectadas situações, por Stephens e Clement (2010), nas quais estudantes do Ensino Médio raciocinam com base em analogias, em casos extremos e em experimentos de pensamento durante discussões entre estudantes e professor relacionadas à gravitação. Não se faz referência ao uso de raciocínio hipotético-dedutivo por parte dos estudantes. Contudo, identificamos que a estratégia de domínio geral identificada como raciocínio com casos extremos possui elementos do raciocínio hipotético-dedutivo, pois envolve imaginar as consequências de mudanças impostas a um sistema para pensar o comportamento do mesmo:

*Raciocínio com caso extremo. Isso ocorre quando um sujeito, pensando sobre uma situação alvo A, passa a considerar uma situação E (o caso extremo) em que algumas características de interesse da situação A tenham sido levadas a valores não usualmente altos ou baixos. Há uma intenção explícita ou implícita de auxiliar o raciocínio sobre (inferir resultados em) A a partir da consideração de E (Stephens & Clement, 2010, p. 4).*

Embora Stephens e Clement (2010) estejam empenhados em apresentar uma metodologia para obter evidências desses tipos de raciocínio, eles apresentam como resultados do trabalho o fato de que esses três tipos de raciocínio são disparados pelos estudantes e sustentados nas discussões entre eles mesmos e nas discussões entre os estudantes e o professor. Esse resultado é tomado como um indicador de que os estudantes conseguem mobilizar com autonomia o pensamento científico nas tarefas que envolvem discussões em sala de aula. Contudo, esses pesquisadores não investigaram nem quais, nem como os elementos do contexto de desenvolvimento das atividades didáticas favoreceram ou dificultaram a mobilização do pensamento científico.

## **PARTICIPANTES E CENÁRIO DA INVESTIGAÇÃO**

Participaram da pesquisa 19 estudantes (15 rapazes e 4 moças) de uma turma da 2ª série do Ensino Médio de uma escola técnica federal localizada em Belo Horizonte/MG (Brasil). Os estudantes cursavam ou o curso técnico integrado em eletrônica ou o curso técnico integrado em informática. À época da coleta dos dados, eles tinham entre 15 e 17 anos. Garantimos o anonimato desses estudantes com a atribuição de nomes fictícios a eles, à turma e aos grupos. Nas aulas de Física, esses estudantes se dividiam em cinco grupos (trios e quartetos). Um de nós, além de coautor do delineamento metodológico e da concepção teórica desta pesquisa, era professor desta turma. O outro, além de coautor, fez as observações em sala e colheu todos os outros dados. A análise desses dados, embora feita em conjunto,

garantiu aos estudantes voluntários privacidade em relação a seu professor, conforme compromisso firmado em termos de assentimento e de consentimento esclarecido.

A escola em questão possui oficinas, laboratórios e salas ambiente, todos bem equipados. O corpo docente é qualificado sendo constituído em sua maioria por mestres e doutores. Os professores têm à disposição recursos multimídia diversificados (tablets, notebooks, lousa digital, projetores multimídia, equipamentos de som, entre outros). A escola está localizada no campus de uma universidade federal, o que amplia as possibilidades de convivência e experiências dos estudantes. Por exemplo, há projetos de grupos de pesquisa da universidade que contam com a participação de estudantes da escola.

Nossa investigação foi conduzida ao longo do primeiro trimestre letivo de 2014 em aulas de Física nas quais foram desenvolvidas atividades inspiradas pelos Tutoriais de Física Introdutória (McDermott & Shaffer, 1998). Naquele trimestre letivo, os temas abordados foram Mecânica Newtoniana e Hidrostática. Em todas as aulas os estudantes trabalharam em pequenos grupos (3 a 4 integrantes) para realizar as tarefas que lhes foram propostas.

O curso de Física dessa escola é dado nas duas primeiras séries do Ensino Médio desde 2009, quando houve uma reforma curricular nos cursos técnicos integrados de nível médio. No quadro 1 apresentamos a distribuição dos assuntos tratados no curso de Física. Há assuntos que são abordados nas duas séries, mas com profundidades e ênfases diferentes. Um desses assuntos é a Dinâmica Newtoniana. Para a turma analisada, as Leis de Newton foram introduzidas na 1ª série sob o ponto de vista histórico, os enunciados das leis foram formalizados e relacionados ao estudo de movimentos unidimensionais. Na 2ª série, busca-se, desde 2010, consolidar a definição operacional de força e dá-se ênfase à elaboração de diagramas de corpo livre, sobretudo para lidar com situações que envolvam aplicações das Leis de Newton. Como todos os professores de Física são pesquisadores na área de ensino, o programa, materiais e estratégias – tanto de ensino, quanto de avaliação – usados no curso são inspirados em resultados de pesquisa.

**Quadro 1** – Assuntos tratados no curso de Física da 1ª e da 2ª série.

		1ª Série	2ª Série
<b>Trimestres</b>	<b>1º</b>	Introdução aos circuitos elétricos.	Dinâmica newtoniana (ênfase na definição operacional de força e na elaboração de diagramas de corpo livre);  Hidrostatica.
	<b>2º</b>	Modelos atômicos e processos de emissão de luz;  Introdução à dinâmica newtoniana;  Transformações e transferência de energia mecânica.	Carga elétrica;  Campo, potencial e força elétrica;  Ímãs;  Campo e força magnética;  Indução eletromagnética.
	<b>3º</b>	Transformações e transferência de energia mecânica;  Introdução à física térmica;  Introdução à ondulatória.	Transformações gasosas e lei dos gases ideais;  Os três princípios da termodinâmica;  Entropia.

Como faziam parte do 2º ano de Física desde 2010, as atividades didáticas e as tarefas propostas aos estudantes em 2014, ano da coleta dos dados, não foram elaboradas para atender as demandas desta pesquisa. Elas eram regulares havia cinco anos e já estavam incorporadas à cultura escolar.

Desde 2009 (e ainda em 2016), a carga horária de Física para o 1º e o 2º ano dos cursos técnicos dos estudantes voluntários é de cinco aulas semanais de 50 minutos. São dois encontros em classe (um de 50 min e outro de 100 min) mais um encontro semanal no laboratório (100 minutos) no qual os estudantes

são divididos em duas subturmas. Os resultados que apresentamos neste trabalho decorrem da análise das aulas que aconteceram em classe. Nelas é que foram desenvolvidas as atividades de dinâmica newtoniana inspiradas nos Tutoriais de Física Introdutória.

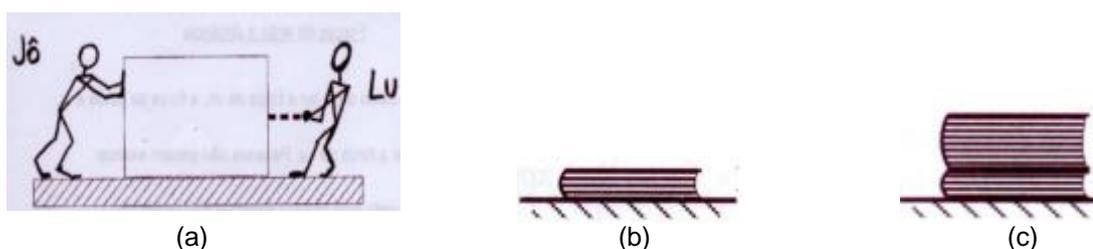
## CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE EM QUE COLETAMOS DADOS

Os Tutoriais de Física Introdutória (McDermott & Shaffer, 1998) são exemplo do que se chama de estratégia instrucional baseada em pesquisa (Henderson & Dancy, 2009). Inspirado por essa estratégia instrucional e por resultados de pesquisas em Ensino, o professor conduziu uma atividade didática sobre mecânica newtoniana em três aulas com durações distintas: 50, 100 e 50 minutos, nessa ordem.

Os tutoriais consistem em sequências de pequenas tarefas com foco em temas fundamentais da Física. Essas tarefas são planejadas para serem abordadas por pequenos grupos. Geralmente, elas são compostas de sequências de questões de lápis e papel. Algumas delas incluem manipulação experimental com materiais simples como, por exemplo, nos tutoriais sobre Eletromagnetismo. Tais tarefas foram criadas com base em dificuldades de aprendizagem e concepções dos estudantes descritas na literatura de pesquisa em Ensino de Física. Busca-se com elas o engajamento cognitivo dos estudantes a fim de propiciar a compreensão funcional dos conceitos básicos da Física e o desenvolvimento de estratégias do pensamento científico (Finkelstein & Pollock, 2005; PEG/UW, 2013). Originalmente, os tutoriais foram elaborados com vistas ao ensino de Física nos anos iniciais de cursos de nível superior. No entanto, há evidências de adaptações bem-sucedidas dessa estratégia no ensino de Física na Educação Básica (Benegas & Flores, 2014; Benegas, 2007; Tuyarat & Eiras, 2011).

As tarefas propostas nos tutoriais criam situações de sala de aula nas quais os estudantes precisam confrontar ideias do senso comum com ideias científicas. O estímulo ao conflito cognitivo é deliberado. McDermott e Shaffer (1998), Finkelstein e Pollock (2005), Zavala, Alarcón e Benegas (2007) e Benegas (2007) resumem a estratégia dos tutoriais em três passos: a) preparar o estudante para os novos conteúdos e eliciar suas ideias sobre conceitos relacionados; b) confrontar essas ideias com evidências fornecidas pelo tutorial; c) resolver as inconsistências entre as ideias prévias e os conceitos científicos.

Delimitamos para análise as três aulas em que o professor desenvolveu uma atividade a partir do tutorial intitulado “Forças” (McDermott & Shaffer, 1998, pp. 21–24), no qual se busca construir uma definição operacional do conceito de mesmo nome. É apresentada a demanda de elaboração e discussão rigorosa de diagramas de corpo livre (DCL) de três objetos nas situações de equilíbrio apresentadas na figura 1. Trata-se de uma atividade de lápis e papel. Implicitamente, o que se requer dos estudantes é que eles levem em consideração as Leis de Newton para avaliar as situações propostas.



**Figura 1** – Objetos em equilíbrio cujo DCL deveria ser elaborado pelos estudantes: (a) bloco em repouso empurrado/puxado por duas pessoas; (b) livro pequeno em repouso sobre mesa nivelada; (c) livro grande colocado sobre o mesmo livro pequeno do item (b), ambos em repouso sobre mesa nivelada (extraído de McDermott & Shaffer, 1998, p. 21-24).

Cinco dinâmicas de trabalho – também inspiradas em pesquisa (Julio & Vaz, 2007; Julio, Vaz, & Fagundes, 2011) – haviam sido introduzidas previamente na rotina de classe: *preleções*, *pequenos grupos*, *plenárias*, *sínteses* e *elaboração de registros escritos pelos estudantes no caderno*. O uso dos tutoriais do GEF/UW junto com essas dinâmicas é uma peculiaridade do contexto escolar onde esta investigação foi conduzida. Essa rotina de classe pode ser um elemento relevante para interpretar os fenômenos de aprendizagem que observamos.

As preleções ocorriam geralmente no início de cada aula. Nesse momento, o professor introduzia assuntos, discutia ideias, destacava e explicava conceitos, demandava explicitamente o uso de estratégias de domínio geral, estabelecia vínculo entre diferentes partes do curso de Física. Embora a condução das plenárias fosse predominantemente dialógica, o protagonismo das ações empreendidas era do professor.

A dinâmica dos pequenos grupos predominou na maior parte do tempo das aulas. Os estudantes foram desafiados a buscar soluções para as tarefas propostas, tal como elaborar, colaborativamente, em folha A3, DCLs de certos objetos. Eles assumiam papel de protagonistas nesse tipo de dinâmica. O professor percorria a sala para observar o andamento das atividades em cada grupo e, quando necessário, fazia intervenções pontuais. A presença do professor também era solicitada pelos grupos de estudantes que enfrentavam dificuldades, não compreendiam as tarefas ou queriam esclarecimentos específicos. As intervenções do professor nos grupos visavam à problematização dos questionamentos dos estudantes. Essa era uma forma de instiga-los a buscarem soluções autônomas para as dificuldades vivenciadas e para os desafios propostos. O professor esclarecia, fazia contrapontos e propunha novas questões, mas não apresentava respostas ou soluções para os problemas dos estudantes.

Na dinâmica das plenárias o professor atuava como mediador de relatos produzidos pelos pequenos grupos e de debates entre estudantes com diferentes opiniões. As plenárias ocorriam em qualquer momento da aula e eram desencadeadas por motivos diversos como a necessidade de uniformizar a abordagem de determinada tarefa ou para equiparar o estágio de desenvolvimento de uma tarefa entre os diferentes grupos. A exposição e discussão dos DCLs elaborados em folha A3 pelos estudantes, por exemplo, se deu em plenária. Em geral, o protagonismo da dinâmica das plenárias era compartilhado entre professor e estudantes.

A dinâmica de síntese acontecia ao final de cada aula ou ao final da abordagem de tópicos específicos. Ela se caracterizava pelo trabalho do professor em destacar conceitos e ideias fundamentais tratadas em cada aula ou num conjunto de aulas. O professor também expunha as principais dificuldades enfrentadas pelos grupos, bem como elementos do processo de superação dessas dificuldades pelos estudantes.

Por fim, houve elaboração de registros escritos pelos estudantes ao final de cada aula a pedido do professor. Essa dinâmica se justificava pela demanda das tarefas: devido ao envolvimento nas discussões, os estudantes descuidavam de fazer qualquer registro dos debates em grupo, das plenárias e do que aprendiam. O professor estabeleceu uma rotina em que os estudantes tomavam notas livres no caderno de física. Essas notas tratavam, por exemplo, das dificuldades enfrentadas na resolução das tarefas, do que se fez para superar essas dificuldades, dos conceitos e ideias tratados.

## **ESTRATÉGIAS DE COLETA DE DADOS**

Utilizamos três instrumentos de coleta de dados de forma complementar. Fizemos (i) gravações em áudio e vídeo dos grupos de estudantes nas aulas de Física; (ii) anotações em caderno de campo; (iii) Fotografias dos materiais produzidos pelos estudantes (cartazes e anotações em caderno) e das anotações do professor no quadro.

As gravações foram feitas com câmeras e com gravadores de áudio. Foram posicionadas duas câmeras na sala de aula: Uma na frente, voltada para o fundo; Outra no fundo, voltada para frente. Foram enquadrados pelas câmeras apenas os grupos de estudantes que aceitaram participar como voluntário da pesquisa e que tiveram o consentimento dos responsáveis legais. Essas câmeras captaram o áudio geral da turma. Para garantir gravações em áudio de melhor qualidade, colocamos um gravador de áudio em cada um dos grupos participantes. As gravações em áudio e vídeo nos permitiram registrar as interações verbais e não verbais entre estudantes, entre estudantes e o professor e entre estudantes e os recursos que constituíam o contexto da sala de aula (e.g., folhas A3 dadas pelo professor para elaboração de cartazes).

Optamos por registrar tanto as interações verbais quanto as não verbais, pois, na realização da atividade pelos estudantes ambas estão inter-relacionadas. Em outras palavras, as falas dos estudantes não se dão no vazio. Há casos em que a interpretação dessas falas dos estudantes nem sequer pode ser feita sem o recurso aos outros tipos de interação que se dão por gestos, expressões faciais, esboços que um estudante faz para explicar sua ideia aos colegas de grupo etc.

Fizemos notas de campo em caderno comum durante o período de coleta de dados. Um de nós permaneceu ao lado da câmera posicionada no fundo da sala para registrar no caderno informações que

poderiam ser importantes para o processo de análise dos dados. Buscamos produzir notas que nos ajudassem a identificar as tarefas e situações nas quais os estudantes supostamente mobilizaram estratégias de domínio geral para solucionar as tarefas que lhes foram propostas. Além disso, empenhamo-nos em registrar nossas impressões pessoais sobre acontecimentos das aulas. Essas notas de campo foram usadas por nós como forma de verificar interpretações que fizemos sobre as cenas gravadas da sala de aula; para obter informações sobre acontecimentos importantes da sala de aula que não foram registrados pelas câmeras ou gravadores; para delimitar os episódios a serem analisados.

Fotografamos as anotações feitas nos cadernos e nos cartazes produzidos pelos estudantes como parte do processo de resolução das tarefas que lhes foram propostas. Os cartazes foram utilizados pelos estudantes como uma plataforma de trabalho comum, que foi tomada como referência nas discussões do grupo e para qual se direcionavam todas as propostas de resolução das tarefas. No caderno, os estudantes faziam notas pessoais relacionadas às tarefas propostas e ao processo de resolução das tarefas. Essas informações obtidas foram tomadas em conjunto com as interações verbais e não verbais no processo de análise dos dados, o que nos permitiu melhorar nossas interpretações dessas interações. Além disso, as fotografias foram importantes na contextualização e na exemplificação das análises que fizemos das estratégias de domínio geral empregadas pelos estudantes. Fotografamos também as anotações feitas pelo professor no quadro durante as aulas. Essa foi uma estratégia de precaução. Com essas fotografias das anotações do professor queríamos minimizar possíveis perdas de informações decorrentes do não enquadramento do quadro branco pelas câmeras usadas nas filmagens.

## **ESTRATÉGIAS DE ANÁLISE DOS DADOS**

Decidimos analisar a atividade sobre dinâmica newtoniana, já descrita, pois, ainda no período de coleta dos dados, tínhamos observado que as tarefas propostas foram desafiadoras para os estudantes; levaram-nos a se pautarem pelas evidências disponíveis para sustentar suas afirmações; e a se esforçarem para articular os conhecimentos que tinham sobre as Leis de Newton na construção de diagramas de corpo livre (DCL). Posteriormente, ao recorrer às notas de campo, confirmamos essa observação inicial. Tudo isso nos levou a apostar que os estudantes tinham mobilizado estratégias de domínio geral na realização das tarefas.

Selecionamos para análise dois dos cinco grupos que participaram como voluntários da pesquisa. O grupo A era composto por três garotas e por um garoto: Ada, Isaac, Maria e Rosalinda. O grupo B era formado por três garotos e por uma garota: César, Lise, Max e Ricardo. Essa escolha foi baseada na assiduidade dos estudantes, pois nos interessou os grupos que não variaram sua composição. Esses dois grupos foram selecionados, pois estiveram completos na maior parte do trimestre letivo. Em um dos grupos, nenhum dos estudantes faltou. No outro grupo, apenas um dos estudantes faltou a uma das aulas do trimestre. No entanto, essa falta se deu em aula que não tomamos para análise que importa aos resultados que apresentamos neste artigo.

Os fenômenos relacionados aos processos de ensino-aprendizagem são complexos. Por isso, ao longo do processo de investigação, recorremos a diferentes técnicas, estratégias e ideias para organizar e conduzir nossa pesquisa. No que tange a análise dos dados, não tínhamos uma estratégia metodológica definida desde o início da pesquisa. Tal estratégia se constituiu ao longo do processo de investigação. Contudo, vistas em retrospectiva, as técnicas e estratégias que empregamos são coerentes com aquelas usadas na análise de conteúdo (Cf. Bardin, 1977; Moraes, 1999; Rosa, 2013). Na análise de conteúdo lida-se com textos oriundos de qualquer tipo de comunicação, seja ela verbal ou não verbal (Moraes, 1999). Busca-se extrair desses textos significados que são implícitos ou explícitos. Rosa (2013), ao tratar de questões metodológicas do Ensino de Ciências, refere-se a essa estratégia como análise de conteúdo do discurso. Para ele, as pesquisas em Ensino de Ciências que se pautam pela análise de conteúdo querem analisar a lógica interna de discursos produzidos. Na pesquisa que relatamos neste artigo, centramos nossa análise na transcrição das falas dos estudantes que participaram como voluntários da pesquisa. No entanto, não tomamos essas transcrições isoladamente, mas em interação com tudo o que se relacionou às falas dos estudantes como, por exemplo, os gestos, as expressões corporais e faciais e os registros escritos produzidos por eles.

A partir das gravações dos estudantes desses dois grupos e de informações registradas no caderno de campo, construímos mapas de episódios de cada uma das três aulas em que os estudantes solucionaram tarefas sobre mecânica newtoniana. Esses mapas de episódios possuem o formato de quadros com seis colunas que informam: (i) o número dos episódios, (ii) a localização temporal dos

episódios nas gravações, (iii) a duração dos episódios, (iv) a identificação dos episódios, (v) o detalhamento do que ocorre nos episódios e (vi) comentários diversos. Os mapas tiveram função importante no processo de análise dos dados: permitir a identificação de episódios para análise e possibilitar uma rápida reconstrução do que ocorreu em cada aula investigada o que, conseqüentemente, favoreceu a contextualização desses episódios.

A elaboração dos mapas de episódios teve como referência os mapas de eventos utilizados nas pesquisas de inspiração etnográfica tanto no âmbito da Educação, quanto do Ensino de Ciências (Castanheira, Crawford, Dixon, & Green, 2000; Green & Meyer, 1991; Julio, 2009). Para nós, um episódio é caracterizado “[...] por um conjunto coerente de ações e significados produzidos pelos participantes em interação, que tem início e fim claros e que pode ser facilmente discernido dos episódios precedentes e subsequentes” (Mortimer et al, 2007, p. 61). Usamos as seguintes características ou marcadores para delimitar os episódios das aulas analisadas: as ações dos estudantes, as ações do professor, as interações entre estudantes, as interações entre estudantes e professor, a dinâmica de trabalho na sala de aula e as tarefas abordadas pelos estudantes. Foi com base nos mapas de episódios produzidos que conseguimos identificar os momentos em que os estudantes mobilizaram estratégias de domínio geral para solucionar as tarefas que lhes foram propostas. Em função da grande extensão dos mapas que produzimos, optamos por não apresentá-los neste artigo. Eles poderão ser consultados na íntegra em Faria (2016).

Os episódios nos quais identificamos indícios de que os estudantes mobilizaram estratégias de domínio geral para solucionar as tarefas sobre dinâmica newtoniana foram transcritos por nós. Analisamos essas transcrições com vistas à categorização das estratégias de domínio geral empregadas pelos estudantes. Nesse processo de análise, não olhamos para as transcrições isoladamente. Em vez disso, relacionamos as sequências de turnos de fala transcritos com as fotografias dos cartazes, com as fotografias dos cadernos e com os mapas de evento que elaboramos em todo o trabalho de análise. As categorias que estabelecemos a partir desse processo analítico emergiram dos nossos dados sob inspiração da literatura de pesquisa que tomamos como base para definir “pensamento científico”, em especial, do trabalho de Arnold Arons (1996).

## **RESULTADOS**

Pela análise das atividades escolhidas, identificamos o uso de quatro estratégias de domínio geral pelos estudantes: raciocínio baseado em evidências, avaliação de linha de raciocínio, raciocínio com definições operacionais e raciocínio hipotético-dedutivo.

### **Raciocínio Baseado em Evidências (RBE)**

O RBE empregado pelos estudantes para solucionar tarefas propostas no tutorial sobre dinâmica newtoniana caracterizou-se por processos nos quais evidências disponíveis foram identificadas e usadas pelos estudantes para embasarem suas afirmações e hipóteses. Não nos referimos especificamente à coordenação entre teoria e evidência nessa definição operacional de RBE. Isso pois nos interessamos também por analisar situações mais elementares nas quais os estudantes basearam-se em evidências para empreender raciocínios para resolução de tarefas sem, necessariamente, darem indícios de que realizaram tal coordenação. Destaca-se que a estratégia de coordenar teoria e evidência é refinada, pois ela apenas se concretiza quando o indivíduo se torna capaz de distinguir teoria de evidência para só então estabelecer relações entre elas (KUHN, 1989; KUHN; PEARSALL, 2000).

O RBE foi a estratégia de domínio geral mais mobilizada nas aulas em que os estudantes solucionaram tarefas sobre dinâmica newtoniana propostas nos tutoriais, tanto no grupo A quanto no grupo B. A mobilização dessa estratégia pelos estudantes se deu no contexto da criação e da discussão de diagramas de corpo livre (DCL) para representar forças que atuavam em diferentes corpos ou sistemas de corpos. Identificamos RBE predominantemente nas dinâmicas de trabalho dos pequenos grupos. Em cada grupo os estudantes colaboraram e buscaram solucionar com autonomia as tarefas propostas.

Exemplificaremos o uso de RBE pelos estudantes pela sequência de turnos transcritas no quadro 2. Temos nesse quadro um bom exemplo de RBE, pois os estudantes identificaram evidências disponíveis no texto do tutorial para sustentarem uma hipótese sobre o módulo das forças representadas no DCL. Além disso, esse exemplo representa bem o RBE empregado na resolução das tarefas pelos estudantes dos grupos A e B.

**Quadro 2** – Exemplo de raciocínio baseado em evidência (RBE)

<p><b>Aula 08/2014 – grupo B – episódio 19:</b> os estudantes trabalharam na tarefa do tutorial “Forças”, parte II, item B (McDermott &amp; Shaffer, 1998, p. 21-24). Eles discutiram sobre a magnitude relativa das forças que atuavam sobre um livro pequeno colocado sob um livro maior. Os estudantes chamaram o livro de baixo de <math>L_1</math> e o livro de cima de <math>L_2</math>.</p>			
			
Nº	EST.	TURNOS DE FALA	COMENTÁRIOS
1	<b>César:</b>	Por que é igual? Só para...	Quis saber por que o módulo da força de contato que o livro de cima fazia sobre o livro de baixo era igual ao módulo da força peso do livro de cima.
2	<b>Max:</b>	Por quê? É... Não sei.	
3	<b>César:</b>	Por que, pessoal?	Dirigiu-se a Ricardo e à Lise.
4	<b>Lise:</b>	A soma das duas seria igual ao tamanho da outra?!	Sugeriu que a força normal que a superfície exercia sobre o livro de baixo era igual à soma da força peso do livro de baixo com a força de contato sobre o livro de baixo feita pelo livro de cima.
5	<b>Ricardo:</b>	A soma das duas tinha que ser igual à normal. Para zerar, porque o livro está em repouso.	RBE
6	<b>Lise:</b>	Por isso que a $P$ é igual à $N$ . Porque ele zera. Então, a soma das duas de baixo daria o tamanho da $N$ .	RBE

O uso de evidência pelos grupos para sustentarem afirmações e hipóteses, como visto no quadro 2, envolveu a construção e avaliação de argumentos. Os argumentos elaborados pelos grupos de estudantes continham, pelo menos, a seguinte estrutura mínima: uma afirmação baseada em dados (evidências), cuja relação entre dados e afirmação era estabelecida por uma justificativa.

A discussão transcrita foi iniciada por César, que queria saber por que o módulo da força peso exercida sobre o livro de cima pela Terra ( $P_{L2T}$ )<sup>1</sup> era igual ao módulo da força de compressão<sup>2</sup> exercida sobre o livro de baixo pelo livro de cima ( $F_{CL1L2}$ ). Lise e Ricardo no 4º e no 5º turnos de fala, respectivamente, não responderam exatamente a questão apresentada por César. As respostas dos dois enfatizaram a relação entre os módulos das seguintes forças no diagrama DCL-L1 (fig. 2):  $N_{L1M} = P_{L1T} + F_{CL1L2}$ .

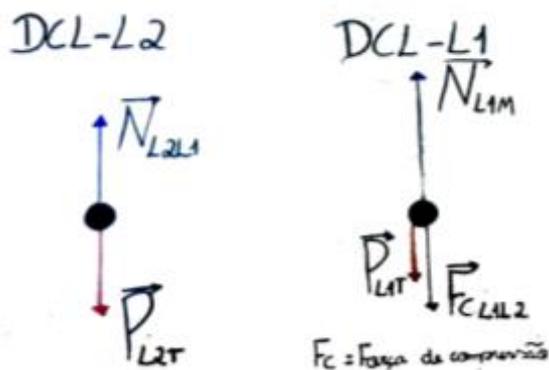
No quinto turno de fala, Ricardo apresentou o repouso do livro como evidência (dado) para afirmar que  $N_{L1M} = P_{L1T} + F_{CL1L2}$ . Ao dizer “para zerar”, Ricardo justificou a relação que estabeleceu entre a evidência e sua afirmação. Essa justificativa foi baseada na 1ª Lei de Newton, pois considerou que é nula a soma das forças que atuam sobre um objeto em repouso.

No sexto turno, vemos o esforço de Lise para justificar a relação entre a afirmação e a evidência apresentadas por Ricardo. Lise faz isso a partir da comparação de dois DCLs distintos: o DCL do livro

<sup>1</sup> Recorremos à formatação em negrito para representar as grandezas vetoriais.

<sup>2</sup> Termo empregado pelos estudantes para designar a força de contato que o livro de cima exercia sobre o livro de baixo.

pequeno sozinho sobre a mesa com o DCL do livro pequeno sob um livro maior. Com base na análise de que  $P = N$  no diagrama do livro pequeno sozinho sobre a mesa (tutorial 01, parte II, item A), Lise buscou sustentação para a relação  $N_{L1M} = P_{L1T} + F_{CL1L2}$  proposta por Ricardo.



N: força normal; P: força peso; Fc: força de compressão; L1: livro de baixo; L2: livro de cima; T: Terra; M: mesa.

**Figura 2** – DCL elaborado em folha A3 pelo grupo B: tutorial 01, parte II, item B.

Nos demais episódios em que houve mobilização de RBE, assim com nesse episódio, os estudantes dos grupos A e B trabalharam colaborativamente para solucionar as tarefas: eles se envolveram no processo de construção de argumentos; ouviram uns aos outros com respeito; apresentaram contribuições para a solução das tarefas propostas; mostraram-se corresponsáveis pelas ações empreendidas no processo de argumentação. Por isso, afirmamos que a mobilização de RBE foi um processo colaborativo nos dois grupos analisados. Essa colaboração emergiu das dinâmicas de trabalho nos pequenos grupos.

#### **Avaliação de Linha de Raciocínio (ALR)**

A ALR caracterizou-se pela apreciação qualitativa feita pelos estudantes da linha de raciocínio empregada por eles mesmos na resolução das tarefas propostas. Essa apreciação enfocou a apropriação de conceitos, teorias e leis utilizados nas discussões para determinação das forças que compoariam os DCLs e das características dessas forças.

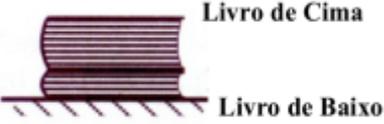
A sequência de turnos de fala transcrita no quadro 3 é um exemplo de ALR que representa bem os outros casos em que essa estratégia foi mobilizada pelos estudantes dos grupos A e B. Trata-se de uma situação na qual um dos membros do grupo detectou uma incoerência entre o DCL produzido, as evidências apresentadas no tutorial e as Leis de Newton.

Esse caso de ALR representa bem os outros casos, por terem em comum o fato de que um membro do grupo identificou o erro, comunicou aos colegas e apresentou uma proposta para solução do erro. Porém, as consequências da ALR não foram as mesmas em todos os casos em que esse tipo de estratégia foi utilizada. Com isso queremos dizer que a ALR por um dos estudantes teve implicações diferentes para o desenvolvimento das tarefas pelo grupo. Identificamos três tipos de desdobramentos gerados pela ALR:

- a) O erro relatado foi discutido pelos membros do grupo com convergência para uma solução comum elaborada colaborativamente. Nesses casos, houve compartilhamento da avaliação da linha de raciocínio entre os membros do grupo;
- b) o erro relatado foi discutido pelos membros do grupo sem convergência para uma solução comum;
- c) a proposta de solução do erro apresentada por quem o identificou foi acatada pelos colegas de grupo sem discussão.

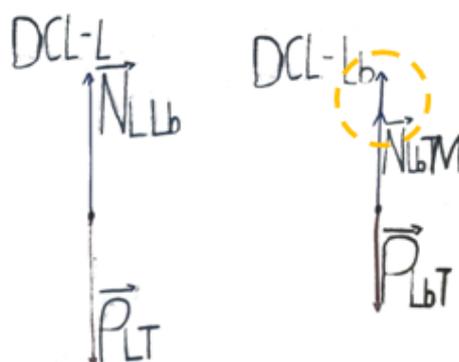
Nesse trecho de transcrição do quadro 3, temos indícios de que Ada avaliou os DCLs produzidos pelo grupo, o que possibilitou a identificação de incoerência: O DCL do livro sozinho sobre a mesa não poderia ser igual ao DCL desse mesmo livro sobre a mesa com outro livro por cima dele. Ao avaliar o DCL, a estudante também avaliou a linha de raciocínio que o grupo tomou para elaborá-lo. Afinal de contas, o DCL produzido e as ideias que orientaram sua elaboração estavam relacionados.

**Quadro 3** – Exemplo de avaliação de linha de raciocínio (ALR)

Nº	EST.	TURNOS DE FALA	COMENTÁRIOS
<p><b>Aula 09/2014 – grupo A – episódio 14:</b> estudantes trabalharam na tarefa do tutorial “Forças”, parte II, item C (McDermott &amp; Shaffer, 1998, p. 21-24). Nessa tarefa, eles deveriam comparar o DCL do livro pequeno sozinho sobre uma mesa com o DCL do livro pequeno sobre uma mesa na situação em que um livro maior foi colocado sobre ele. Deveriam também identificar quais forças mudaram e quais forças permaneceram iguais de uma situação para a outra. Os DCLs comparados foram elaborados pelos próprios estudantes.</p> <div style="float: right; text-align: right;">     </div>			
1	Ada	No nosso gráfico as coisas permaneceram as mesmas. Mas eu acho que a normal ficou maior e tem uma força...	ALR
2	Rosalinda	Gráfico?	
3	Ada	No nosso diagrama... As coisas permaneceram as mesmas na parte A e na parte B. Mas eu acho que não permaneceram. Eu acho que a normal aumentou e a força... E teve outra força [risos]... E teve uma força do livro de baixo também... Eu acho! A gente não representou...	ALR Apontou para a folha A3 sobre a carteira. Ao não encontrar palavras, começou a batucar na mesa. Colegas riram da situação.
4	Rosalinda	Não. Aumentou sim...	Quis dizer que representaram o aumento da força normal. Disse isso ao comparar erroneamente o DCL do livro de baixo com o DCL do livro de cima, em vez de comparar o DCL do livro pequeno sozinho sobre uma superfície com o DCL desse livro pequeno sob um livro grande.
5	Isaac	Eu acho também.	Pareceu concordar com Ada.
6	Rosalinda	Essa seta é menor do que essa.	Apontou para os DCLs do livro de baixo e do livro de cima na folha A3.
7	Ada	Não!	
8	Rosalinda	Aqui tem como você ver que é. Pelo menos está desenhado menor.	Apontou para a folha A3. Comparou as forças normais do livro de baixo e do livro de cima.
9	Ada	Rosalinda, esse livro aqui é o livro de baixo. Esse dois [livro dois] aqui é o livro de baixo.	Apontou para a folha A3 enquanto falava.
10	Rosalinda	Esse livro é o de cima e esse é o de baixo. Aqui o livro está fazendo...	O que considerou como DCL do livro de cima era o DCL do livro de baixo, e vice-versa.
	Ada	Não. Esse é o de cima. Esse que é o	Fez a correspondência correta dos

11		de baixo.	DCLs com os livros.
12	Rosalinda	Ah, então a gente foi muito idiota.	
13	Ada	Por quê?	
14	Rosalinda	Por que essa aqui é maior do que essa quando?	Referiu-se às forças peso do livro de cima e do livro de baixo.
15	Isaac	Porque o livro de cima tem maior massa.	
16	Ada	É o que eu estou falando. A gente não mudou nada aqui. E a gente concordou com isso [inaudível].	ALR Mostrou para os colegas que a força normal nos DCLs do livro de baixo e do livro sozinho sobre a mesa estavam iguais.

O grupo de estudantes não conseguiu convergir para uma solução do problema relatado por Ada. O erro por ela relatado era simples, mas conceitualmente difícil de ser abordado. Ada não apenas identificou e alertou os colegas de grupo sobre o erro, como também descreveu as mudanças que deveriam ser feitas no DCL para torná-lo coerente com o fenômeno físico a ser representado: incluir a força de contato que o livro de cima fazia sobre o livro de baixo e aumentar o módulo da força normal que a mesa fazia sobre o livro de baixo de modo a manter nula a resultante das forças (turnos 1 e 3). Os colegas tiveram dificuldade em compreender o ponto de vista de Ada, embora tenham mostrado aparente concordância com a ideia de que a força normal sobre o livro de baixo deveria ser maior que a força normal sobre esse mesmo livro sozinho sobre a mesa (turnos 4 e 5). Nesse caso específico, pareceu-nos que Isaac, Maria e Rosalinda tiveram dificuldade em considerar os agentes das forças, em articular esses agentes para elaborar o DCL e em identificar os corpos que interagiam com o livro em contato com a superfície da mesa (objeto de interesse). A fig. 3 mostra a versão final do DCL elaborado pelo grupo A na folha A3:



N: força normal; P: força peso; L: livro de cima; Lb: livro de baixo; T: terra; M: mesa.

**Figura 3** – DCLs elaborados em folha A3 pelo grupo A: tutorial 01, parte II, item B

No diagrama de corpo livre do livro de baixo (DCL-L<sub>b</sub>), destacamos a área do círculo pontilhado. Esse círculo pontilhado chama a atenção para a ampliação do módulo do vetor  $N_{LbM}$  usado para representar a força normal sobre o livro de baixo. Trata-se de um único vetor e não de dois, como parece. Essa ampliação decorreu da ALR feita por Ada. No entanto, o grupo não representou a força de contato do livro de cima sobre o livro de baixo, também indicada por Ada. Como está, o DCL sugere que a força resultante sobre o livro é diferente de zero, já que  $N_{LbM} > P_{LbT}$  (antes dessa ampliação feita pelos estudantes os módulos dessas forças eram iguais). Isso contradisse a evidência apurada pelos estudantes de que o livro estava em repouso.

É interessante notar que o módulo dessa força normal que atua sobre o livro de baixo ficou igual ao módulo da força normal que atua sobre o livro de cima  $N_{LbM} = N_{LLb}$ . Isso decorreu da dificuldade dos estudantes em considerar que no livro pequeno colocado sob um livro maior há duas forças verticais e para baixo. Ora pareceram desconsiderar a ação da força peso sobre esse livro pequeno, ora pareceram desconsiderar a ação da força de contato do livro grande sobre o livro pequeno. Possivelmente, em consequência da dificuldade conceitual que vivenciaram.

### Raciocínio com definições operacionais (RDO)

O RDO caracterizou-se pelo recurso dos estudantes à definição operacional de força para solucionar as tarefas que demandaram elaboração, verificação e correção de DCL. Apropriamo-nos da ideia de definição operacional com base nos trabalhos de McDermott e Shaffer (1998; 2000) e do trabalho de Arons (1996). Estes, por sua vez, parecem ter se inspirado no físico Percy Bridgman (1927), considerado por muitos o precursor da ideia de definição operacional. Para Bridgman, uma definição operacional consiste no conjunto de operações que informam como detectar ou medir algo que é objeto da definição.

A apropriação que McDermott e Shaffer (1998; 2000) e Arons (1996) fizeram de definição operacional explica a concepção desses autores de que primeiro se deve ensinar as ideias por trás dos conceitos, para posteriormente nomeá-los. Embora para Bridgman (1927) as definições operacionais tenham caráter quantitativo, para aqueles autores há também definições operacionais de caráter qualitativo. Por exemplo, a definição operacional de força, em termos qualitativos, pode envolver a compreensão dos efeitos que podem ser gerados por forças aplicadas a um objeto.

As definições operacionais utilizadas pelos estudantes dos grupos A e B tiveram caráter predominantemente qualitativo. Elas foram tomadas por eles para, por exemplo, decidirem sobre a inclusão ou não inclusão de forças nos DCLs, bem como para descrever as forças representadas. Com o emprego dessa estratégia, os estudantes também experimentaram oportunidades de refinar ou repensar a definição operacional que tinham sobre esse conceito.

Apresentamos no quadro 4 a transcrição de um trecho do episódio 8 da aula 08/2014 para exemplificar o RDO. Nesse exemplo, os estudantes trabalharam com a definição operacional de força para discutir a magnitude relativa das forças que atuavam em um livro em repouso sobre uma mesa.

**Quadro 4** – Exemplo de raciocínio com definições operacionais (RDO).

<p><b>Aula 08/2014 – grupo A – episódio 8:</b> Estudantes trabalharam no tutorial “Forças”, parte II, item A (McDermott &amp; Shaffer, 1998, p. 21-24). Eles elaboraram o DCL de um livro colocado sobre uma mesa. Os estudantes discutiram sobre a determinação da magnitude relativa dos vetores força normal e força peso que atuavam sobre o livro. Essa discussão foi interrompida quando o professor estabeleceu uma plenária envolvendo toda a turma.</p>			
			
Nº	EST.	TURNOS DE FALA	COMENTÁRIOS
1	Ada	Gente, essa pergunta número 2 da letra A. Como é que determina a magnitude da força?	
2	Isaac	Uai...!? Oi?	
3	Ada	Lê aí.	Tutorial 01, parte II, item A2: “Que observação pode ser feita para que você possa determinar a magnitude relativa das forças que agem sobre o livro.”
4	Rosalinda	Eu acho que a...	
5	Isaac	Do mesmo tamanho, uai?	

6	<b>Ada</b>	Ah, primeiro a Rosalinda termina aí e depois a gente discute isso.	
7	<b>Isaac</b>	Elas têm que ser iguais, porque elas se anulam.	
8	<b>Ada</b>	Elas não se anulam. Força normal não é reação da força peso, em hipótese nenhuma. Tira essa ideia da sua cabeça!	RDO  Ada considerou que as forças peso e normal não formam um par de ação e reação. Apresentou essa ideia para justificar sua afirmação de que essas forças não se anulam. Isso nos fez pensar que Ada considerava que forças envolvidas em pares de ação e reação se anulam.
9	<b>Isaac</b>	Elas se anulam...	
10	<b>Ada</b>	Elas não se anulam.	Diminuiu o volume da voz.
11	<b>Isaac</b>	Claro que se anulam.	Quase inaudível.
12	<b>Ada</b>	Uma não é reação da outra. Uma não tem nada a ver com a outra.	Diminuiu o volume da voz ainda mais.
13	<b>Isaac</b>	Mas força de ação e reação não se anulam.	RDO  Recorreu à definição operacional de par de ação e reação para contra-argumentar com Ada.
14	<b>Ada</b>	Não. Mas tipo... Elas não são... Elas não se anulam!	Mostrou-se confusa.
15	<b>Isaac</b>	Calma, Ada... Claro, ué. Elas são de mesmo sentido... Mesmo tamanho... Direções diferentes... A resultante vai ser zero.	Trocou o significado dos termos direção e sentido, mas o raciocínio empregado nos pareceu fisicamente correto.

A discussão apresentada no quadro 4 exemplifica bem o RDO empreendido pelos grupos, pois se trata de um caso em que os estudantes recorreram ou tentaram recorrer à definição operacional de força para solucionar uma das tarefas propostas no tutorial. Essa é a característica que une todos os demais casos em que esse tipo de estratégia foi mobilizada.

Arons (1996) propõe que a definição operacional do conceito de força seja construída progressivamente a partir da abordagem e da interpretação das três Leis de Newton. Pela integração das três leis e de ideias a elas relacionadas é que os estudantes se tornam capazes de construir uma definição operacional robusta do conceito de força.

O que vemos no quadro 4 é uma situação em que ocorrem dois fenômenos simultâneos relacionados à progressão sugerida por Arons: os estudantes se esforçaram em usar uma definição operacional de força para tratarem da magnitude relativa das forças que agiam sobre um livro numa condição específica. Nesse esforço houve articulação da ideia de pares de ação e reação, bem como da condição de equilíbrio de translação de um corpo; ao mesmo tempo, os estudantes experimentaram um processo de desenvolvimento dessa definição operacional.

Entre os turnos 1 e 7, ocorreu a apresentação por Isaac da ideia de que as forças normal e peso eram iguais, pois deveriam se anular. Inferimos que esse estudante pautou-se pela evidência do repouso do livro para fazer essa afirmação, pois essa condição de repouso implicava que a força resultante sobre o objeto deveria ser nula. No turno 8, Ada recorreu à ideia de par de ação e reação, que constitui a definição operacional de força, para embasar sua discordância em relação a essa proposição feita por Isaac. Ada afirmou que as forças normal e peso não se anulavam, pois não formavam um par de ação e reação.

Há contradição no trato por Ada com a definição operacional de força. Por um lado, a estudante estava correta ao afirmar que normal e peso não constituem um par de ação e reação. Inferimos que a estudante considerou que os pares de ação e reação não atuam num mesmo corpo, pois ela declarou isso explicitamente em outros momentos. Por outro lado, o fato de essas forças em questão não constituírem um par de ação e reação não significava a impossibilidade delas se anularem. O que ocorria era justamente o contrário. Por não constituírem um par de ação e reação, havia a possibilidade dessas forças se anularem, já que atuavam sobre um mesmo objeto. Essa contradição que acabamos de mostrar foi percebida por Isaac e declarada por ele aos colegas no turno 13. Em seguida, o modo hesitante como Ada se posicionou no turno 14 sugere que a estudante sentiu-se confusa. Por fim, no turno 15, para reafirmar que as forças peso e normal se anulavam, Isaac articulou outros elementos da definição operacional de força (módulo, direção e sentido) ao que disse com base na evidência do repouso do livro e com base nas ideias da 1ª Lei de Newton.

Nossa análise sugere que Ada falhou ao utilizar a definição operacional de força para estruturar seu raciocínio sobre a magnitude relativa do peso e da normal. Embora haja possibilidade de que essa falha tenha ocorrido por descuido, a hesitação de Ada no turno 14 sugere dificuldade em tomar a definição operacional de força para pensar uma solução para a tarefa. Entendemos que a dificuldade de Ada e o modo como a discussão evoluiu são evidências de que a estudante e, conseqüentemente, o grupo experimentaram uma oportunidade de desenvolvimento dessa definição operacional.

### **Raciocínio Hipotético-Dedutivo (RHD)**

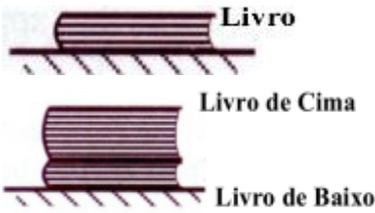
Na literatura, o RHD é definido como aquele no qual se empregam ideias gerais, leis e teorias para prever o comportamento de um sistema, tendo condições particulares como ponto de partida: “[...] dada uma situação particular, aplicar conhecimentos relevantes de princípios e restrições e visualizar, no abstrato, os resultados plausíveis que podem surgir de várias mudanças que alguém possa imaginar impor sobre o sistema” (Arons, 1996, p. 381). Anton Lawson (2000, 2003, 2010) considera que o raciocínio hipotético-dedutivo é uma marca do pensamento científico. Essa proposição decorre da análise de casos notáveis de processos de construção do conhecimento científico. Para esse autor, o raciocínio hipotético-dedutivo é caracterizado pelo padrão “se... e... então... e/mas... portanto...”. O termo “se” refere-se à formulação de hipótese “e” à apresentação de proposições adicionais ou de testes; “então” está associado às previsões; “e/mas” envolve a colocação dos resultados observados em perspectiva; e “portanto” envolve as conclusões. Contudo, nem sempre o raciocínio hipotético-dedutivo de estudantes pode ser caracterizado por esse padrão completo. É muito comum que ele se enquadre num padrão simplificado “se... e... então” ou “se... então... portanto”. O padrão de raciocínio hipotético-dedutivo proposto por Lawson tem sido utilizado para avaliação de situações de ensino-aprendizagem (Locatelli & Carvalho, 2007).

Constatamos que o RHD mobilizado pelos estudantes caracterizou-se pelo uso das Leis de Newton para prever como objetos de interesse, cujos diagramas de corpo livre deveriam ser elaborados, se comportariam considerando-se alterações nas condições iniciais a que esses objetos estavam submetidos. O que fizemos, portanto, foi identificar essas situações específicas nas quais os estudantes imaginaram mudanças possíveis nesse conjunto de condições iniciais, bem como as conseqüências provocadas por essas mudanças. Usamos o modelo de Lawson para analisar esses casos.

Essa estratégia foi observada quando os estudantes queriam mostrar por que um diagrama de corpo livre (DCL) tinha que ser de determinada maneira e não de outra. Para isso, eles utilizaram teorias e modelos para antecipar as conseqüências sobre o comportamento dos objetos de interesse representados pelos DCLs provocadas por mudanças introduzidas nas características das forças representadas.

No quadro 5, transcrevemos um trecho de discussão protagonizado pelos estudantes do grupo B. Nesse trecho, os estudantes compararam as forças que atuavam sobre um livro sozinho sobre a mesa com as forças que atuavam sobre esse mesmo livro quando um segundo livro foi posto sobre ele.

**Quadro 5** – Exemplo de raciocínio hipotético-dedutivo (RHD)

Nº	EST.	TURNOS DE FALA	COMENTÁRIOS
<p><b>Aula 09/2014 – grupo B – episódio 12:</b> Estudantes trabalharam na tarefa proposta no tutorial “Forças”, parte II, item C (McDermott &amp; Shaffer, 1998, p. 21-24). Eles deveriam comparar o DCL de um livro pequeno em duas situações: (i) quando sozinho sobre uma superfície horizontal e (ii) quando sob um livro maior sobre a mesma superfície horizontal. O trecho transcrito se iniciou após a leitura por César do enunciado do item C.</p>			
			
1	Lise	A normal continuou a mesma.	
2	César	A força peso continuou a mesma.	
3	Lise	A peso não continuou a mesma não... O peso muda.	Lise e César olharam para o DCL desenhado na folha A3.
4	César	O peso muda?	
5	Max	Não. O peso continua o mesmo.	
6	César	O peso continua o mesmo.	
7	Max	Porque esse aqui deveria ser igual a esse.	Apontou para o livro pequeno nas duas situações: quando sozinho e quando sob um livro maior.  Lise ficou pensativa com olhar fixo na folha A3.
8	Lise	Então a peso continua a mesma aqui?	Apontou para o DCL da folha A3.
9	César	O que muda é a força de compressão.	
10	Max	E a força normal, velho.	
11	César	A força normal continua a mesma.	
12	Max	Não...	César olhou para o DCL na folha A3.
13	César	A força normal continua a mesma, não?	
14	Lise	Se for olhar para esse gráfico [DCL] continua, mas ele está errado...	Apontou para o DCL na folha A3.
15	Max	Não, mano! Não continua.	
16	César	Se for olhar por aqui continua.	Mostrou o DCL da folha A3.
17	Max	Pois é, mas não deveria ser o mesmo.	Estudantes perceberam erro no DCL.
18	César	Por quê? Porque uma...	
19	Max	Porque a normal aumenta quando você coloca o segundo livro. Senão o negócio...	RHD.
20	César	Aumenta o negócio...	
21	Lise	Então a força normal aumenta?	

22	César	Ela tende a ser... Ela aumenta.	
23	Max	Senão esse negócio ia sair flutuando... ia ser uma coisa bizarra.	RHD  Imaginou uma implicação para a situação física representada caso a força normal sobre o livro de baixo não aumentasse.

Esse caso trazido como exemplo de uso de RHD representa bem os demais casos, pois eles têm em comum o fato de que os estudantes imaginaram o efeito sobre o comportamento de um objeto de interesse caso fosse alterada alguma condição a que esse objeto de interesse estava submetido. A antecipação das consequências de mudanças impostas sobre o objeto de interesse foi realizada tendo-se como base as Leis de Newton.

A elaboração do RHD se deu entre os turnos de fala 19 e 23. Apoiado nessa estratégia de domínio geral, Max buscou qualificar seu argumento a favor da visão de que a força normal que a mesa exercia sobre o livro menor aumentava quando um livro maior era colocado sobre ele. O raciocínio de Max pode ser caracterizado pelo padrão “se... e... então...”:

**Se:** você coloca o segundo livro...

**e:** o livro pequeno continua em repouso... [proposição apresentada antes desses turnos de fala]

**então:** a normal aumenta... Senão esse negócio ia sair flutuando.

Max cometeu um equívoco ao pensar nas consequências sobre o comportamento do objeto de interesse decorrentes da manutenção do módulo da força normal que atuava sobre o livro menor quando um livro maior era posto sobre ele. Esse erro se deu ao propor que o livro menor, colocado sobre a mesa, sairia flutuando caso a força normal exercida sobre ele não aumentasse quando um livro maior fosse colocado sobre esse livro menor. Na verdade, o livro “afundaria” na mesa, já que haveria uma força resultante para baixo. Contudo, ao fazer esse exercício mental, Max identificou que o objeto de interesse (o livro menor) se comportaria de forma diferente daquela evidenciada pelo tutorial: o livro em repouso. Inferimos com isso que Max percebeu que a força resultante sobre o livro menor não seria nula caso a força normal não aumentasse. E a maneira que encontrou de argumentar com os colegas sobre isso foi tentar avaliar as consequências do raciocínio proposto por eles sobre o comportamento do objeto de interesse.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação da mobilização e do desenvolvimento de estratégias de raciocínio de domínio geral por estudantes nas áreas de ciências, tecnologias, engenharias e matemática é uma demanda posta para a nossa comunidade de pesquisa tendo em vista as sinalizações de acadêmicos e de entidades diversas sobre o que se espera dos currículos nessas áreas (AAAS, 1990; Brasil, 1996; Brasil, 2013; Choi et al., 2012; Ding et al., 2014; Fensham, 2012; Mansilla & Jackson, 2011; NRC, 2013; Pozo & Crespo, 2009; Vieira et al., 2011). Conduzimos esta investigação com o intuito de dar uma contribuição para o atendimento dessa demanda.

Em nossa pesquisa, identificamos estratégias de domínio geral empregadas por estudantes para solucionarem tarefas propostas por um professor em aulas de um curso de Física Introdutória de uma escola federal que oferta ensino técnico integrado de nível médio. A atividade didática empreendida por esse professor envolvia o uso de dinâmicas de classe e de um material de ensino cujas concepções foram informadas pelas pesquisas em Ensino de Física. Nos últimos 15 anos, atividades inspiradas pelos Tutoriais de Física Introdutória (McDermott & Shaffer, 1998) têm sido exaustivamente investigadas, tendo-se mostrado seu potencial para a promoção do desenvolvimento conceitual de estudantes seja no Ensino Médio, seja no Ensino Superior (Benegas & Flores, 2014; Finkelstein & Pollock, 2005; Keller et al., 2005; Lorenzo et al., 2006; Tuyarot & Eiras, 2011). A falta de atenção dessas pesquisas a aspectos relacionados a outras aprendizagens que não a aprendizagem conceitual, nos levou a conduzir esta investigação acerca do uso e do desenvolvimento de estratégias de raciocínio por estudantes da Educação Básica.

Identificamos o uso de quatro estratégias de domínio geral pelos estudantes nas aulas em que eles solucionaram tarefas do tutorial sobre dinâmica newtoniana: o raciocínio baseado em evidência, a avaliação

de linha de raciocínio, o raciocínio com definições operacionais e o raciocínio hipotético-dedutivo. Esses resultados estão de acordo com os objetivos dos tutoriais relacionados a essas estratégias de domínio geral que são sinalizados por seus idealizadores (McDermott & Shaffer, 1998; PEG/UW, 2013). Nas palavras de McDermott, Shaffer e Constantinou (2000, p. 412), as tarefas dos tutoriais criam oportunidades para “*examinar a natureza do conteúdo para compreender não apenas o que sabemos, mas com base em que evidências e em que linhas de raciocínio chegamos a esse conhecimento*”. Entendemos que as estratégias de domínio geral que os estudantes usaram para solucionar as tarefas que lhes foram propostas vão ao encontro de tais oportunidades.

Esses resultados que obtivemos somados às demandas de pesquisa para o campo do Ensino de Ciências que destacamos neste artigo reforçam a necessidade de novas investigações tanto sobre a mobilização, quanto sobre o processo de desenvolvimento dessas e de outras estratégias de raciocínio. Para isso será preciso refinar as estratégias de coleta e de análise de dados em contextos nos quais são desenvolvidas atividades inspiradas pelos Tutoriais de Física Introdutória.

As tarefas propostas aos estudantes nas aulas que observamos foram simples, mas de solução não evidente. O conjunto dessas tarefas impõe dificuldades para o estudante que se arrisca a enfrentá-lo sozinho, mas se mostra viável àqueles que aceitam abordá-lo de modo colaborativo, junto aos colegas de grupo. Essas características estão de acordo com o que Cohen (1994) e Mercer (1995) indicam como necessárias ao estabelecimento de interações produtivas entre estudantes levando-os a se desenvolverem cognitivamente. Consideramos que isso, possivelmente, contribuiu para que os estudantes pudessem mobilizar as estratégias de domínio geral que identificamos.

Portanto, as atividades inspiradas pelos Tutoriais de Física Introdutória (McDermott & Shaffer, 1998) constituem um contexto bastante particular. Por isso é preciso ampliar o tipo de investigação que conduzimos para outros contextos nos quais sejam estabelecidas atividades diferentes das que observamos seja no âmbito da Física, seja no âmbito das outras áreas ligadas às Ciências Naturais.

## **Agradecimentos**

Agradecemos aos estudantes voluntários, seus pais e responsáveis, pela confiança; Aos árbitros deste artigo pelos questionamentos e sugestões que contribuíram para a melhoria da comunicação de nossos resultados de pesquisa.

## **REFERÊNCIAS**

- AAAS. (1990). *Science for all Americans: Project 2061*. New York: Oxford University Press. Recuperado de <http://www.project2061.org/publications/sfaa/default.htm>
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82, 417–436. DOI: [10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199807\)82:4<417::AID-SCE1>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199807)82:4<417::AID-SCE1>3.0.CO;2-E)
- Al-Ahmadi, F. M. A., & Reid, N. (2011). Scientific thinking. What is it and can it be measured? *Revista de Educación En Ciencias*, 12(5), 53–59.
- Almudi, J. M., & Ceberio, M. (2014). Analysis of arguments constructed by first-year engineering students addressing electromagnetic induction problems. *International Journal of Science and Mathematics Education*. DOI: [10.1007/s10763-014-9528-y](https://doi.org/10.1007/s10763-014-9528-y)
- Arons, A. B. (1996). *Teaching Introductory Physics*. Teaching Introductory Physics. New York: John Wiley & Sons. DOI: [10.1119/1.880002](https://doi.org/10.1119/1.880002)
- Bardin, L. (1977). *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70.
- Benegas, J. (2007). Tutoriales para Física Introdutória : Una experiencia exitosa de Aprendizaje Activo de la Física. *Latin American Journal Physics. Education*, 1(1), 32–38.
- Benegas, J., & Flores, J. S. (2014). Effectiveness of Tutorials for Introductory Physics in Argentinean high schools. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10(1), 1–10. DOI: [10.1103/PhysRevSTPER.10.010110](https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.010110)

- Borges, A. T., & Gomes, A. D. T. (2005). Percepção de estudantes sobre desenhos de testes experimentais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 22(1), 72–95.
- Borges, O. (2006). Formação inicial de professores de Física: Formar mais! Formar melhor! *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(2), 135–142.
- Borges, O. N., Borges, A. T., & Vaz, A. M. (2005). Os planos dos estudantes para resolver problemas práticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(3), 435–446. DOI:10.1590/S1806-11172005000300022
- Brasil. Diretrizes e bases da educação nacional (1996). Brasil.
- BRASIL. Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (2013).
- Bridgman, P. W. (1927). *The Logic of Modern Physics*. New York: Macmillan.
- Bulgren, J. a., Ellis, J. D., & Marquis, J. G. (2013). The Use and Effectiveness of an Argumentation and Evaluation Intervention in Science Classes. *Journal of Science Education and Technology*, 23(1), 82–97. DOI: 10.1007/s10956-013-9452-x
- Castanheira, M. L., Crawford, T., Dixon, C. N., & Green, J. L. (2000). Interactional Ethnography: An Approach to Studying the Social Construction of Literate Practices. *Linguistics and Education*, 11(4), 353–400. DOI: 10.1016/S0898-5898(00)00032-2
- Choi, A., Hand, B., & Greenbowe, T. (2012). Students' Written Arguments in General Chemistry Laboratory Investigations. *Research in Science Education*, 43(5), 1763–1783. DOI: 10.1007/s11165-012-9330-1
- Coelho, G. R. (2011). *A evolução do entendimento dos estudantes em eletricidade: Um estudo longitudinal*. Universidade Federal de Minas Gerais. Recuperado de [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/FAEC-8M7F6M/tese\\_final.pdf](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/FAEC-8M7F6M/tese_final.pdf)
- Cohen, E. (1994). Restructuring the classroom: Conditions for productive small groups. *Review of Educational Research*, 64(1), 1–35.
- Cruz, E., O'Shea, B., Schaffenberg, W., Wolf, S., & Kortemeyer, G. (2010). Tutorials in Introductory Physics: The Pain and the Gain. *The Physics Teacher*, 48(7), 453–457. DOI: 10.1119/1.3488188
- Ding, L., Wei, X., & Mollohan, K. (2014). Does Higher Education Improve Student Scientific Reasoning Skills? *International Journal of Science and Mathematics Education*, (Dec). DOI: 10.1007/s10763-014-9597-y
- Dunbar, K., & Fugelsang, J. (2005). Scientific Thinking and Reasoning. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 705–725). Cambridge: Cambridge University Press. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199734689.013.0035
- Dunbar, K. N., & Klahr, D. (2012). Scientific Thinking and Reasoning. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 701–718). New York: Oxford University Press. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199734689.013.0035
- Faria, A. F. (2008). *Engajamento de Estudantes em Atividade de Investigação*. Universidade Federal de Minas Gerais. Recuperado de [http://dspace.lcc.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/FAEC-84XHTF/1/dissertacao\\_faria\\_a\\_f.pdf](http://dspace.lcc.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/FAEC-84XHTF/1/dissertacao_faria_a_f.pdf)
- Faria, A. F. (2016). *Investigação de experiências de pensamento científico de estudantes em tarefas de física em grupo*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/305173831>
- Fensham, P. J. (2012). The challenge of generic competences to science education. In C. Bruguière, A. Tiberghien, & P. Clément (Eds.), *Proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science learning and Citizenship* (pp. 7–14). Lyon: ESERA. Recuperado de [http://www.esera.org/media/ebook/strand9/ebook-esera2011\\_FENSHAM-09.pdf](http://www.esera.org/media/ebook/strand9/ebook-esera2011_FENSHAM-09.pdf)
- Finkelstein, N., & Pollock, S. (2005). Replicating and understanding successful innovations: Implementing tutorials in introductory physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1(1),

1–13. [DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.1.010101](https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010101)

- Flores, J. S., & Benegas, J. (2008). Aprendizaje de circuitos eléctricos en el nivel polimodal: Resultados de distintas aproximaciones didácticas. *Enseñanza de Las Ciencias*, 26(2), 245–256.
- Gil-Pérez, D., Montoro, I. F., Alís, J. C., Cachapuz, A. F. C., & Praia, J. F. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação (Bauru)*, 7(2), 125–153.
- Gilabert, S., Garcia-Mila, M., & Felton, M. K. (2013). The Effect of Task Instructions on Students' Use of Repetition in Argumentative Discourse. *International Journal of Science Education*, 35(17), 2857–2878. [DOI: 10.1080/09500693.2012.663191](https://doi.org/10.1080/09500693.2012.663191)
- Green, J., & Meyer, L. (1991). The embeddedness of reading in classroom life: reading as a situated process. In C. Baker & A. Luke (Eds.), *Toward a critical sociology of reading pedagogy* (pp. 141–160). Philadelphia: John Benjamins.
- Henderson, C., & Dancy, M. (2009). Impact of physics education research on the teaching of introductory quantitative physics in the United States. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 5(2), 1–8. [DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.5.020107](https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.5.020107)
- Heron, P. R. L., Loverude, M. E., Shaffer, P. S., & McDermott, L. C. (2003). Helping students develop an understanding of Archimedes' principle. II. Development of research-based instructional materials. *American Journal of Physics*, 71(11), 1188–1195.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141–158.
- Hodson, D. (1985). Philosophy of Science, Science and Science Education. *Studies in Science Education*, (12), 25–57. [DOI: 10.1080/03057268508559922](https://doi.org/10.1080/03057268508559922)
- Hodson, D. (1986). Philosophy of science and science education. *Journal of Philosophy of Education*, 20(2), 215–225. [DOI: 10.1080/03057268508559922](https://doi.org/10.1080/03057268508559922)
- Hodson, D., & Wong, S. L. (2014). From the Horse's Mouth: Why scientists' views are crucial to nature of science understanding. *International Journal of Science Education*, 36(16), 1–27. [DOI: 10.1080/09500693.2014.927936](https://doi.org/10.1080/09500693.2014.927936)
- Lordanou, K., & Constantinou, C. P. (2015). Supporting Use of Evidence in Argumentation Through Practice in Argumentation and Reflection in the Context of SOCRATES Learning Environment. *Science Education*, 99(2), 282–311. [DOI:10.1002/sce.21152](https://doi.org/10.1002/sce.21152)
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Bustamante, J. D. de. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias : Cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de Las Ciencias*, 21(3), 359–370.
- Julio, J. M. (2009). *Física e Masculinidades: microanálise de atividades de investigação na escola*. Universidade Federal de Minas Gerais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. Recuperado de [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/FAEC-843NYU/tese\\_versaocorrigida\\_jmj\\_2010\\_final.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/FAEC-843NYU/tese_versaocorrigida_jmj_2010_final.pdf?sequence=1)
- Julio, J. M., Vaz, A., & Borges, A. T. (2009). Construção de gráficos em atividades de investigação: Microanálise de aulas de física. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Extra), 3038–3041.
- Julio, J. M., & Vaz, A. M. (2007). Grupos de alunos como grupos de trabalho: um estudo sobre atividades de investigação. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação Em Ciências*, 7(2).
- Julio, J. M., Vaz, A. M., & Fagundes, A. (2011). Atenção: Alunos engajados - Análise de um grupo de aprendizagem em atividade de investigação. *Ciência & Educação (Bauru)*, 17(1), 63–81. [DOI: 10.1590/S1516-73132011000100005](https://doi.org/10.1590/S1516-73132011000100005).
- Kasseboehmer, A. C. método investigativo em aulas teóricas de Q. : estudo das condições da formação do espírito científico, & Ferreira, L. H. (2013). O método investigativo em aulas teóricas de Química: estudo das condições da formação do espírito científico. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 12, 144–168.

- Katchevich, D., Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2013). Argumentation in the Chemistry Laboratory: Inquiry and Confirmatory Experiments. *Research in Science Education*, 43(1), 317–345. DOI: [10.1007/s11165-011-9267-9](https://doi.org/10.1007/s11165-011-9267-9)
- Keller, C. J., Finkelstein, N. D., Perkins, K. K., & Pollock, S. J. (2005). Assessing the effectiveness of a computer simulation in conjunction with Tutorials in Introductory Physics in undergraduate physics recitations. In P. Heron, L. McCullough, & J. Marx (Eds.), *Physics Education Research Conference Proceedings* (pp. 109–112). Salt Lake: AIP.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1–48.
- Klahr, D., Zimmerman, C., & Jirout, J. (2011). Educational interventions to advance children's scientific thinking. *Science*, 333(6045), 971–5. DOI: [10.1126/science.1204528](https://doi.org/10.1126/science.1204528)
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96(4), 674–689.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The Development of Scientific Thinking Skills*. San Diego: Academic Press.
- Kuhn, D., & Pearsall, S. (2000). Developmental Origins of Scientific Thinking. *Journal of Cognition and Development*, 1(1), 113–129. DOI: [10.1207/S15327647JCD0101N\\_11](https://doi.org/10.1207/S15327647JCD0101N_11)
- Kulatunga, U., Moog, R. S., & Lewis, J. E. (2013). Argumentation and participation patterns in general chemistry peer-led sessions. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(10), 1207–1231. DOI: [10.1002/tea.21107](https://doi.org/10.1002/tea.21107)
- Lawson, A. E. (1978). The development and validation of a classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 15(1), 11–24. DOI: [10.1002/tea.3660150103](https://doi.org/10.1002/tea.3660150103)
- Lawson, A. E. (1982). The nature of advanced reasoning and science instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 19(9), 743–760. DOI: [10.1002/tea.3660190904](https://doi.org/10.1002/tea.3660190904)
- Lawson, A. E. (2000). The Generality of Hypothetico-Deductive Reasoning: Making Scientific Thinking Explicit. *The American Biology Teacher*, 62(7), 482. DOI: [10.1662/0002-7685\(2000\)062\[0482:TGOHDR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1662/0002-7685(2000)062[0482:TGOHDR]2.0.CO;2)
- Lawson, A. E. (2003). Allchin's Shoehorn, or Why Science is Hypothetico-Deductive. *Science & Education*, 12(3), 331–337. DOI: [10.1023/A:1024090727385](https://doi.org/10.1023/A:1024090727385)
- Lawson, A. E. (2010). Basic inferences of scientific reasoning, argumentation, and discovery. *Science Education*, 94(2), 336–364. DOI: [10.1002/sce.20357](https://doi.org/10.1002/sce.20357)
- Lee, H. S., & Park, J. (2013). Deductive reasoning to teach Newton's law of motion. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11, 1391–1414. DOI: [10.1007/s10763-012-9386-4](https://doi.org/10.1007/s10763-012-9386-4)
- Locatelli, R. J., & Carvalho, A. M. P. (2007). Uma análise do raciocínio utilizado pelos alunos ao resolverem os problemas propostos nas atividades de conhecimento físico. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação Em Ciências*, 7(3), 1–18.
- Lorenzo, M., Crouch, C. H., & Mazur, E. (2006). Reducing the gender gap in the physics classroom. *American Journal of Physics*, 74(2), 118–122. DOI: [10.1119/1.2162549](https://doi.org/10.1119/1.2162549)
- Maia, P. F., & Justi, R. (2008). Desenvolvimento de habilidades no Ensino de Ciências e o processo de avaliação: Análise da coerência. *Ciência & Educação*, 14(3), 431–450. DOI: [10.1590/S1516-73132008000300005](https://doi.org/10.1590/S1516-73132008000300005)
- Mansilla, V. B., & Jackson, A. (2011). *Educating for Global Competence: Preparing Our Youth to Engage the World*. New York: Asia Society.
- Marušić, M., & Sliško, J. (2012). Influence of Three Different Methods of Teaching Physics on the Gain in Students' Development of Reasoning. *International Journal of Science Education*, 34(2), 301–326. DOI: [10.1080/09500693.2011.582522](https://doi.org/10.1080/09500693.2011.582522)

- Mashood, K. K., & Singh, V. A. (2013). Large-scale studies on the transferability of general problem-solving skills and the pedagogic potential of physics. *Physics Education*, 48(5), 629–635. DOI: [10.1088/0031-9120/48/5/629](https://doi.org/10.1088/0031-9120/48/5/629)
- McComas, W. F. (Ed.). (2002). *The Nature of Science in Science Education - Rationales and Strategies*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1998). *Tutorials in Introductory Physics - Preliminary Edition*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Mcdermott, L. C., Shaffer, P. S., & Constantinou, C. P. (2000). Preparing teachers to teach physics and physical science by inquiry. *Physics Education*, 35(6), 411–416. DOI: [10.1088/0031-9120/35/6/306](https://doi.org/10.1088/0031-9120/35/6/306)
- Mercer, N. (1995). *The guided construction of Knowledge: Talk amongst teachers and learners*. Clevedon: Multilingual Matters.
- Millar, R., & Lubben, F. (1996). Knowledge and Action: Students' Understanding of the Procedures of Scientific Enquiry. In G. Weldford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in Science and Education in Europe* (pp. 166–173). London: Falmer Press.
- Moraes, R. (1999). Análise de Conteúdo. *Revista Educação*, 22(37), 7–32.
- Mortimer, E. F., Massicame, T., Tiberghien, A., & Buty, C. (2007). Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de Ciências. In R. Nardi (Ed.), *A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: Alguns Recortes* (pp. 53–94). São Paulo: Escrituras.
- Mulder, Y. G., Lazonder, A. W., & de Jong, T. (2010). Finding Out How They Find It Out: An empirical analysis of inquiry learners' need for support. *International Journal of Science Education*, 32(15), 2033–2053. DOI: [10.1080/09500690903289993](https://doi.org/10.1080/09500690903289993)
- NRC. (2013). Next Generation Science Standards. Recuperado de <http://www.nextgenscience.org/>
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: the role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328(5977), 463–6. DOI: [10.1126/science.1183944](https://doi.org/10.1126/science.1183944)
- 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. DOI: [10.1002/tea.20035](https://doi.org/10.1002/tea.20035)
- Osborne, J., Simon, S., Christodoulou, A., Howell-Richardson, C., & Richardson, K. (2013). Learning to argue: A study of four schools and their attempt to develop the use of argumentation as a common instructional practice and its impact on students. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(3), 315–347. DOI: [10.1002/tea.21073](https://doi.org/10.1002/tea.21073)
- Paula, H. de F. e, & Borges, A. T. (2007). Avaliação e testes de explicações na Educação em Ciências. *Ciência & Educação*, 13(2), 175–192. DOI: [10.1590/S1516-7313200700020000](https://doi.org/10.1590/S1516-7313200700020000)
- PEG/UW. (2013). Preface to Tutorials in Introductory Physics. Recuperado de <http://depts.washington.edu/uwpeg/tutorial/preface>
- Piekny, J., Grube, D., & Maehler, C. (2014). The Development of Experimentation and Evidence Evaluation Skills at Preschool Age. *International Journal of Science Education*, 36(2), 334–354. DOI: [10.1080/09500693.2013.776192](https://doi.org/10.1080/09500693.2013.776192)
- Pollock, S. J. (2005). No Single Cause: Learning Gains, Student Attitudes, and the Impacts of Multiple Effective Reforms. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 790) (pp. 137–140). Aip. Recuperado de <http://link.aip.org/link/?APC/790/137/1&Agg=doi>
- Pollock, S. J., Finkelstein, N. D., & Kost, L. E. (2007). Reducing the gender gap in the physics classroom: How sufficient is interactive engagement? *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 3(1), 1–4. DOI: [10.1103/PhysRevSTPER.3.010107](https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.010107)
- Pozo, J. I., & Crespo, M. Á. G. (2009). *A Aprendizagem e o Ensino de Ciências - do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico* (5a ed). Porto Alegre: Artmed.

- Praia, J. F., Cachapuz, A. F. C., & Gil-Pérez, D. (2002). Problema, Teoria e Observação em Ciência : Para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. *Ciência E Educação*, 8(1), 127–145. DOI: [10.1590/S1516-73132002000100010](https://doi.org/10.1590/S1516-73132002000100010)
- Ritchhart, R., & Perkins, D. N. (2005). Learning to Think : The Challenges of Teaching Thinking. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (1a ed) (pp. 775–802). New York: Cambridge University Press.
- Rosa, P. R. da S. (2013). Uma Introdução à Pesquisa Qualitativa Em Ensino De Ciências. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
- Sampson, V., & Clark, D. (2009). The Impact of collaboration on the outcomes of scientific argumentation. *Science Education*, 93(3), 448–484. DOI: [10.1002/sce.20306/](https://doi.org/10.1002/sce.20306/)
- 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. DOI: [10.1002/sce.20276](https://doi.org/10.1002/sce.20276)
- Serres, M. (2013). *Polegarzinha*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Shaffer, P. S., & McDermott, L. C. (2005). A research-based approach to improving student understanding of the vector nature of kinematical concepts. *American Journal of Physics*, 73(10), 921–931. DOI: [10.1119/1.2000976](https://doi.org/10.1119/1.2000976)
- Slezak, C., Koenig, K. M., Endorf, R. J., & Braun, G. A. (2011). Investigating the Effectiveness of the Tutorials in Introductory Physics in Multiple Instructional Settings. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 7(2), 1–8. DOI: [10.1103/PhysRevSTPER.7.020116](https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.7.020116)
- Stephens, A. L., & Clement, J. J. (2010). Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2), 1–15. DOI: [10.1103/PhysRevSTPER.6.020122](https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020122)
- Tang, X., Coffey, J. E., Elby, A., & Levin, D. M. (2010). The scientific method and scientific inquiry: Tensions in teaching and learning. *Science Education*, 94(1), 29–47. DOI: [10.1002/sce.20366](https://doi.org/10.1002/sce.20366)
- Toulmin, S. E. (1958). The Layout of Arguments. In *The Uses of Argument - Updated edition* (pp. 87–131). Cambridge: Cambridge University Press. DOI: [10.1017/CBO9780511840005.007](https://doi.org/10.1017/CBO9780511840005.007)
- Tuyarot, D. E., & Eiras, W. da C. S. (2011). Investigando os “Tutoriais em Física Introdutória” no Ensino Médio. In *XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física* (pp. 1–10). Manaus: SBF.
- Tytler, R., & Peterson, S. (2003). Tracing Young Children’s Scientific Reasoning. *Research in Science Education*, 33(4), 433–465. DOI: [10.1023/B:RISE.0000005250.04426.67](https://doi.org/10.1023/B:RISE.0000005250.04426.67)
- Valanides, N., Papageorgiou, M., & Angeli, C. (2013). Scientific Investigations of Elementary School Children. *Journal of Science Education and Technology*, 23(1), 26–36.
- Vaz, A. M. (2016). O exercício da função: professor de física e pesquisador em ensino. In *Diálogo entre as múltiplas perspectivas na pesquisa em Ensino de Física* (pp. 119–172). São Paulo: Livraria da Física.
- Vieira, R. M., Tenreiro-vieira, C., & Martins, I. P. (2011). Critical thinking : Conceptual clarification and its importance in science education. *Science Education International*, 22(1), 43–54.
- Waldrip, S., & Waldrip, B. (2014). Impact of a representational approach on students’ reasoning and conceptual understanding in learning mechanics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12, 741–765. DOI: [10.1007/s10763-013-9431-y](https://doi.org/10.1007/s10763-013-9431-y)
- Yun, S. M., & Kim, H.-B. (2014). Changes in Students’ Participation and Small Group Norms in Scientific Argumentation. *Research in Science Education*, 465–484. DOI: [10.1007/s11165-014-9432-z](https://doi.org/10.1007/s11165-014-9432-z)
- Zavala, G., Alarcón, H., & Benegas, J. (2007). Innovative Training of In-service Teachers for Active Learning: A Short Teacher Development Course Based on Physics Education Research. *Journal of Science Teacher Education*, 18(4), 559–572. DOI: [10.1007/s10972-007-9054-7](https://doi.org/10.1007/s10972-007-9054-7)

Zimmerman, C. (2000). The Development of Scientific Reasoning Skills. *Developmental Review*, 20(1), 99–149. [DOI: 10.1006/drev.1999.0497](https://doi.org/10.1006/drev.1999.0497)

Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172–223. [DOI: 10.1016/j.dr.2006.12.001](https://doi.org/10.1016/j.dr.2006.12.001)

**Recebido em:** 10.11.2016

**Aceito em:** 04.04.2017