



Dois Olhares Sobre a Elaboração por Estudantes de Diagramas de Corpo Livre em Aulas de Física

Alexandre F. Faria  • Arnaldo M. Vaz 

Resumo

Diagramas de corpo livre (DCL) são um tipo de inscrição científica usado para representar as forças que agem sobre objetos de interesse. Resultados de pesquisa sinalizam que a leitura e elaboração de DCL é uma tarefa desafiadora. O objetivo deste estudo foi analisar a qualidade dos DCL e das experiências de estudantes ao elaborarem esses DCL, bem como comparar o resultado dessas duas análises. O estudo foi conduzido em aulas da 2ª série do Ensino Médio de uma escola técnica federal localizada em Belo Horizonte. Analisamos os dados de dois grupos de quatro estudantes, moças e rapazes com idades entre 15 e 17 anos. Os nossos resultados mostram que a qualidade dos DCL dos estudantes foi mediana, mas, na maioria das vezes, sua elaboração resultou em experiências educativas. A qualidade dos DCL não é um preditor para a qualidade das experiências dos estudantes.

Palavras-chave: inscrições científicas, representações científicas, diagrama de corpo livre, experiência educativa, ensino de física

Two Views on Students' Elaboration of Free-Body Diagrams in Physics Classes

Abstract

Free-body diagrams (FBD) are scientific inscriptions representing the forces acting on an object of interest. Research results indicate that the reading and elaboration of FBD is a challenging task. The objective of this study was to analyze the quality of FBD and the experiences of students that were constituted in the elaboration of these FBDs, as well as to compare the results of these two analyses. The study was conducted in a 10th-grade class at a federal vocational high school in Belo Horizonte. We analyzed data from two groups of four students, girls, and boys, aged between 15 and 17 years. Our results show that the quality of the students' DCL was only average, but, in most cases, their elaboration resulted in educational experiences. The quality of DCL does not predict the quality of student experiences.

Keywords: scientific inscriptions, scientific representation, free-body diagram, educative experience, physics teaching

Introdução

Os diagramas de corpo livre (DCL) são um tipo de artefato muito empregado na resolução de problemas de Física ou na abordagem de situações em que se precisa descrever e analisar as forças que agem sobre corpos, bem como os seus efeitos. Trata-se de uma representação sintética na qual um ponto simboliza um objeto de interesse qualquer; e na qual vetores, originados nesse ponto, são usados para representar as forças que outros objetos exercem sobre o objeto de interesse (Heckler, 2010; Pratiwi et al., 2021; Rosengrant et al., 2009; Sirait et al., 2018).

Algumas dificuldades dos estudantes em ler, interpretar e elaborar DCL são bem descritas na literatura de pesquisa. Geralmente, é difícil, por exemplo, reconhecer quem são os agentes das forças; isolar o objeto de interesse; representar adequadamente as magnitudes relativas das forças (Heckler, 2010; Pratiwi et al., 2021; Rosolio et al., 2014; Savinainen et al., 2013; Scherr & Redish, 2005; Whiteley, 1996). Como destacam Savinainen et al. (2013), essas dificuldades não causam estranheza, pois o próprio conceito de força é muito difícil para os estudantes.

Pesquisas indicam que a capacidade de produzir e interpretar DCL de maneira consciente contribui para o sucesso na resolução de problemas de Física e para o desenvolvimento conceitual dos estudantes. Assim, intervenções pedagógicas explícitas são fundamentais para o desenvolvimento dessa capacidade (Mesic et al., 2017; Rosengrant et al., 2009).

Savinainen et al. (2013) propuseram uma heurística de apoio à construção de DCL: a elaboração de diagramas de interação. Os diagramas de interação explicitam quais são os outros objetos que interagem com o objeto de interesse, bem como a natureza da interação entre eles. Esses pesquisadores investigaram se os diagramas de interação contribuem para a identificação das forças que agem sobre objetos de interesse e para a construção de DCL de boa qualidade. Os resultados indicam que os diagramas de interação contribuem para a identificação correta das forças que agem sobre os objetos de interesse, mas não necessariamente para a elaboração de DCL adequados. Uma interpretação desse resultado é que, além de identificar as forças aplicadas sobre o objeto de interesse, é preciso articular as Leis de Newton para estabelecer uma relação entre elas (magnitude relativa). De todo modo, estudantes que usam com maior frequência os diagramas de interação vão melhor tanto na tarefa de identificar as forças envolvidas, quanto na de elaborar DCL corretos.

Heckler (2010) investigou se a qualidade da resolução de problemas é melhorada quando se solicita aos estudantes que utilizem DCL. Os seus resultados surpreendem pois estudantes induzidos a usar os DCL têm pior desempenho que estudantes que são deixados livres para escolher uma estratégia para abordar os problemas. Quando têm liberdade, estudantes utilizam com maior frequência estratégias menos formais e mais intuitivas no processo de resolução, obtendo maior sucesso. Estudantes chamados a usar os DCL cometem erros na identificação das forças e tratam a elaboração do DCL e a resolução do problema como tarefas que não guardam relação entre si.

Rosengrant, Van Heuvelen e Etkina (2005) desenvolvem com os seus estudantes a seguinte heurística para elaboração de DCL: identificar o objeto de interesse; identificar os objetos que interagem com o objeto de interesse; identificar e representar as forças que agem sobre o objeto de interesse. Eles investigaram se os estudantes, sem solicitação explícita ou estímulo externo, usam DCL para solucionar questões de múltipla escolha em provas de Física; e se os estudantes que utilizam DCL se saem melhor nas avaliações que aqueles estudantes que não os utilizam. Os resultados sinalizam que o número de estudantes que utilizam DCL é maior do que o número dos que não utilizam; e que os estudantes que desenharam DCL fisicamente corretos são mais bem sucedidos na resolução dos problemas. Contudo, desenhar DCL incorreto é pior do que não desenhar em termos de sucesso na resolução de problemas.

Os resultados de Rosolio et al. (2014) mostram que estudantes que ingressam no Ensino Superior enfrentam dificuldades na identificação dos agentes das forças. Sem o reconhecimento de que as forças decorrem da interação entre objetos e o desenvolvimento da capacidade de identificação dos agentes das forças é de se esperar muita dificuldade na construção de DCL. Nesse sentido, as heurísticas de apoio à construção de DCL propostas por Savinainen et al. (2013) e Rosengrant et al. (2005) parecem bem acertadas.

Em síntese, a literatura mostra que elaborar DCL corretos é difícil, mas que essa habilidade pode ser desenvolvida; que somente a elaboração de DCL corretos contribui para o sucesso na resolução de problemas. Entendemos que aprender é um processo. Não se desenvolvem as habilidades de produção, leitura e interpretação de DCL em pouco tempo. Trata-se de um objetivo de longo prazo, que deve ser visado ao longo de todo o curso de Física do Ensino Médio. Nossa hipótese de trabalho foi que, pesquisas que avaliam apenas os DCL produzidos por estudantes apresentam a limitação de não conseguirem destacar elementos importantes do processo de aprendizagem envolvido no uso dessa ferramenta.

Assim, conduzimos uma investigação que busca não apenas olhar para o certo e o errado, mas para o processo de construção dos DCL e para as aprendizagens que emergem dele. Dito de outra forma, o objetivo deste estudo foi analisar e comparar a qualidade de diagramas de corpo livre (DCL) e a qualidade das experiências de produção desses diagramas por estudantes em aulas de Física do Ensino Médio. Os resultados são ricos, pois mostram uma contradição entre a qualidade dos DCL produzidos e a qualidade das experiências dos estudantes.

Inscrições Científicas

Diagramas de corpo livre (DCL) são um tipo de inscrição científica. Na literatura, inscrição científica e representação científica são expressões distintas que designam uma mesma ideia. Gráficos, diagramas, esquemas, desenhos são exemplos de inscrições científicas. As inscrições científicas favorecem a comunicação de ideias e de fenômenos complexos e a representação de grandes conjuntos de dados de forma sucinta (Ainsworth, 2008; Wu & Krajcik, 2006a).

A elaboração e a interpretação de inscrições são atividades comuns entre pessoas que lidam com tarefas de cunho científico e tecnológico. Por isso, entende-se que o desenvolvimento de habilidades de uso de inscrições é uma forma de contribuir para o letramento científico dos estudantes (Ainsworth et al., 2011; Harsh & Schmitt-Harsh, 2016). No âmbito do ensino de ciências, as inscrições estão presentes nos textos didáticos e nos processos de comunicação estabelecidos em sala de aula. Nesse contexto, uma das funções importantes das inscrições é a de se configurar como ferramentas de compartilhamento e reelaboração de significados (Wu & Krajcik, 2006b). Sabe-se que o uso de inscrições como recurso mediacional e que as iniciativas de estabelecer condições para o desenvolvimento de habilidades de produção e interpretação de inscrições estão relacionados ao desenvolvimento conceitual de estudantes (Adadan, 2013; Ainsworth, 2008; Ainsworth et al., 2011).

O que chamamos de inscrições científicas também constitui modos de comunicação em outras áreas de conhecimento, por veículos de comunicação e propaganda e até mesmo por pessoas no desempenho de tarefas cotidianas. Leitura de esquemas e diagramas em manuais de equipamentos domésticos, leitura de gráficos e tabelas em textos destinados ao público em geral e leitura de infográficos são atividades que exemplificam isso. Nesse sentido, as experiências escolares envolvendo produção e interpretação de inscrições têm o potencial de serem reelaboradas fora do contexto escolar (Harsh & Schmitt-Harsh, 2016).

No campo do Ensino de Ciências, há pesquisas que avaliam com pré-teste/pós-teste o efeito de intervenções didáticas específicas sobre habilidades de produção e interpretação de inscrições (e.g. Harsh & Schmitt-Harsh, 2016). São raras as pesquisas — como a de Wu e Krajcik (2006b) e a nossa — que se propõem a investigar o processo de desenvolvimento dessas habilidades.

Conduzimos um estudo em aulas de Física sobre dinâmica em que estudantes elaboram e interpretam DCL de objetos em situações diversas. Propusemos responder às seguintes questões: (1) O que se pode dizer sobre a qualidade dos DCL produzidos pelos estudantes nessas aulas de Física? (2) Que tipo de experiências os estudantes tiveram com a construção desses DCL? (3) Há relações entre a qualidade dos DCL e a qualidade das experiências dos estudantes nas tarefas de elaboração desses DCL?

Delineamento Metodológico

Cenário da Investigação

A pesquisa foi conduzida em uma escola técnica federal de nível médio localizada na cidade de Belo Horizonte. Trata-se de uma escola bem equipada e com infraestrutura de oficinas e laboratórios didáticos, biblioteca e auditório. Todos os professores trabalham em regime de dedicação exclusiva; os de Física fizeram doutorado na área de Pesquisa em Ensino de Ciências. A escola está localizada no campus de uma universidade federal, o que amplia as possibilidades de convivência e experiências dos estudantes.

Os dados foram coletados no 1º trimestre letivo de 2014, em aulas de Física da 2ª série, nas quais foram desenvolvidas atividades inspiradas pelos Tutoriais de Física Introdutória (McDermott & Shaffer, 1998). Quando fizemos as observações em sala, os estudantes tinham cinco aulas de 50 minutos por semana, sendo três em classe e duas no laboratório. Para esta pesquisa coletamos dados apenas nas aulas de classe. O tema abordado era Mecânica Newtoniana. Em todas as aulas, os estudantes trabalharam em pequenos grupos (3 a 4 integrantes) para realizar as tarefas.

Voluntários da Pesquisa

Contamos com a participação de 19 voluntários (15 rapazes e 4 moças) de turma da 2ª série formada por 39 estudantes de dois cursos técnicos integrados: Eletrônica e Informática. À época da coleta dos dados, eles tinham entre 15 e 17 anos. Neste artigo, apresentamos os dados coletados no grupo A (1 rapaz e 3 moças) e no grupo B (3 rapazes e 1 moça). Esses grupos foram escolhidos pois os seus membros vieram a todas as aulas da sequência tomada para análise.

Garantimos o anonimato desses estudantes com a atribuição de nomes fictícios a eles, à turma e aos grupos. Um de nós era o professor dessa turma. O outro fez as observações em sala e colheu todos os dados. A análise desses dados, embora feita em conjunto, garantiu aos estudantes voluntários privacidade em relação a seu professor, conforme compromisso firmado por Termo de Assentimento e Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TALE e TCLE). Isso foi possível porque a análise conjunta dos dados se deu somente após o término do ano letivo.

O projeto de pesquisa que deu origem a este trabalho foi submetido e aprovado pelo COEP/CAAE: 96678918.0.0000.5149.

Atividade em que Coletamos os Dados

Coletamos dados em uma sequência de três aulas de classe com duração de 50, 100 e 50 minutos. Nessas aulas, o professor conduziu uma atividade didática sobre Mecânica Newtoniana inspirada pelos Tutoriais de Física Introdutória de McDermott e Shaffer (1998). Entre as tarefas desenvolvidas pelos grupos de estudantes está a elaboração colaborativa de DCL em folha A3. Também coletamos dados numa aula posterior, com duração de 100 minutos, na qual os estudantes trabalharam com a resolução de uma lista de exercícios no caderno de Física.

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; algumas envolvem manipulação experimental, mas não é o caso das tarefas que analisamos. Geralmente, as tarefas são compostas de sequências de questões de lápis e papel. Tais questões 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

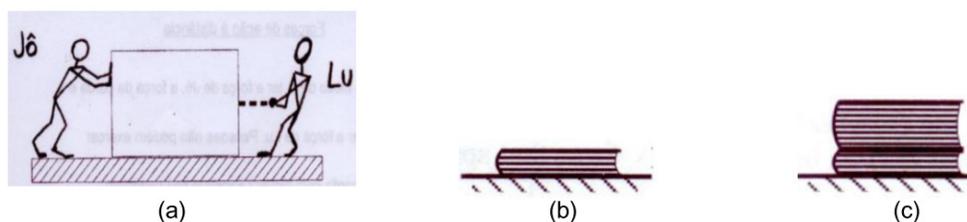
pensamento científico (Finkelstein & Pollock, 2005; PEG/UW, 2013). Originalmente, os tutoriais foram elaborados com vistas ao ensino de Física nos anos iniciais da Educação Superior. No entanto, há adaptações bem-sucedidas dessa estratégia na Educação Básica (Benegas, 2007; Benegas & Flores, 2014; Faria & Vaz, 2018; Tuyarot & 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. A estratégia de ensino dos tutoriais pode ser resumida 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 (Benegas, 2007; Finkelstein & Pollock, 2005; McDermott & Shaffer, 1998; Zavala et al., 2007).

Nas aulas que observamos, o professor propôs tarefas baseadas no tutorial intitulado “Forças” (McDermott & Shaffer, 1998, pp. 21–24), no qual se busca construir uma definição operacional desse conceito. Esse tutorial inicia pelas situações representadas na Figura 1 e atividades de lápis e papel que as acompanham. A primeira delas, por exemplo, é elaborar diagramas de corpo livre de três objetos de interesse: o bloco, o livro pequeno — em (b) e em (c) — e o livro grande. Esta tarefa demanda, primeiro, observação cuidadosa de um objeto de interesse de cada vez e, depois, discussão rigorosa sobre as interações — à distância ou por contato — entre ele e outros objetos. Implicitamente, o que se requer dos estudantes é que eles levem em consideração as Leis de Newton para avaliar as situações propostas e representar as forças que agem sobre os objetos.

Figura 1

Objetos em repouso cujo DCL deveria ser elaborado pelos estudantes: (a) bloco empurrado/puxado por duas pessoas; (b) livro pequeno sobre mesa nivelada; (c) livro grande colocado sobre o mesmo livro pequeno do item (b)

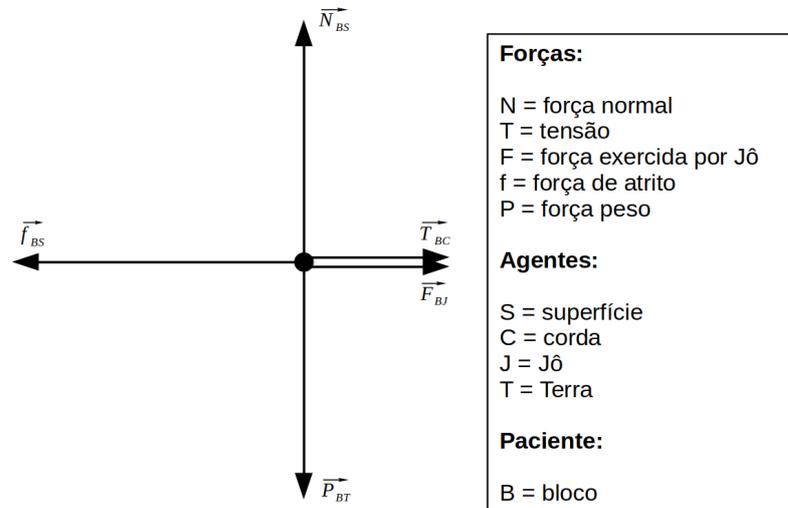


Fonte: extraído de McDermott & Shaffer, 1998, pp. 21–24.

Era esperado que os estudantes elaborassem DCL com todas as forças que agem sobre os objetos de interesse; indicassem corretamente o módulo relativo, a direção e o sentido das forças; identificassem adequadamente as forças de modo a informar claramente o tipo de força, quem exerce a força (agente) e sobre quem a força está aplicada (paciente). Como exemplo, a Figura 2 mostra um DCL com essas qualidades, referente ao bloco representado na Figura 1(a):

Figura 2.

DCL do bloco representado na figura 1(a)



Estratégia da Coleta de Dados

Trabalhamos com três fontes de dados: (i) gravações em áudio e vídeo dos grupos de estudantes; (ii) anotações em caderno de campo; (iii) Fotografias dos cadernos e de cartazes produzidos pelos estudantes durante as aulas.

Com as gravações em áudio e vídeo registramos 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 usadas para elaboração de cartazes).

As notas de campo — elaboradas por um de nós, em caderno comum — foram usadas como forma de: verificar interpretações que fizemos sobre as cenas gravadas da sala de aula; obter informações sobre acontecimentos importantes da sala de aula que não foram registrados pelas câmeras ou gravadores; delimitar os episódios a serem analisados.

Fotografamos os cartazes e as páginas dos cadernos produzidos pelos estudantes durante o período de coleta de dados. As fotografias dos cartazes se justificam, pois os mesmos foram utilizados pelos estudantes como uma plataforma comum de trabalho, que congregava todo o grupo. Os registros que constituíam a resolução das tarefas, em geral, eram feitos primeiro nos cartazes. Esses registros serviram de referência nas discussões empreendidas no grupo. Por sua vez, as fotografias dos cadernos foram importantes porque eram neles que os estudantes faziam notas pessoais relacionadas às tarefas propostas e ao processo de resolução das tarefas.

Estratégia da Análise de Dados

A análise dos diagramas de corpo livre (DCL) elaborados pelos estudantes foi realizada com base em rubricas elaboradas por Eugenia Etkina e parceiros do grupo de ensino de Física e Astronomia da universidade de Rutgers (Etkina et al., 2019; Etkina & PAER, 2018).

Seu conjunto de rubricas avalia oito habilidades científicas e pode ser usado por professores, pesquisadores ou, em processos de auto-avaliação, por estudantes. As habilidades científicas são por eles definidas como um conjunto de procedimentos, processos e métodos que são comuns ao trabalho de pessoas envolvidas com atividades de cunho científico.

Adaptamos a rubrica originalmente utilizada para avaliar a “habilidade de representar informações de múltiplas maneiras” (Etkina et al., 2006; 2019) para avaliar a qualidade dos DCL produzidos pelos estudantes. Usamos uma rubrica de 4 categorias, que representam níveis de habilidade, numa escala de 0 a 3. Para facilitar a identificação de padrões, associamos tons de cinza a essa escala numérica; quanto mais escuro, melhor a avaliação do DCL.

Figura 3

Rubrica para avaliação de DCL adaptada de Etkina et al. (2006; 2019)

0	Estudante não construiu um DCL.
1	DCL apresenta erros fundamentais como: representação de força inexistente ou de forças com módulo, direção ou sentido incorretos; forças que deixam de ser representadas.
2	DCL com vetores corretamente representados, mas apresenta ausência ou erros na identificação das forças (letra com seta para indicar a força e índices para identificar o agente e o paciente da força). Incluem-se aqui os casos em que vetores não são desenhados a partir do ponto que representa o objeto de interesse.
3	DCL com todas as forças adequadamente representadas: Indicação correta do módulo, direção e sentido das forças; Identificação adequada das forças de modo a informar claramente o tipo de força, quem exerce a força e sobre quem a força está aplicada.

A análise da qualidade das experiências dos estudantes foi realizada em estudo anterior (Faria & Vaz, 2018). Retomaremos os resultados deste estudo para fazer a comparação entre a qualidade dos DCL produzidos pelos estudantes e a qualidade das experiências desses estudantes no processo de construção desses DCL.

A avaliação da qualidade das experiências dos estudantes foi realizada a partir da Teoria da Experiência proposta por John Dewey (Dewey, 1966; 1997; 2010).

As experiências se sucedem ao longo de toda a vida, pois todo indivíduo está em constante interação com seu mundo físico e social. Ao passar por uma experiência, a pessoa é transformada independentemente de sua própria intenção. Os indivíduos são modificados e modificam aquilo com o que interagem, sejam outras pessoas, sejam objetos, a partir de uma relação transacional entre eles. Todos os envolvidos numa experiência se constituem mutuamente (Dewey, 1997; Roth & Jornet, 2014).

A qualidade das experiências pode variar. Elas podem ou não promover o desenvolvimento, possibilitando ações inteligentes em situações novas. Em outras palavras, há experiências educativas e há experiências deseducativas.

Dewey (1997) propõe dois princípios para a avaliação do potencial educativo de experiências: Princípio da Continuidade e Princípio da Interação. O princípio da continuidade diz que “toda experiência vive nas experiências que a sucedem” (Dewey, 1997, p. 27). Isso significa que “[...] toda experiência tanto toma algo das experiências passadas quanto modifica de algum modo a qualidade das experiências que virão” (Dewey, 1997, p. 35). As experiências educativas conduzem a um tipo de crescimento que possibilita ao indivíduo agir de modo inteligente em novas situações a partir da reelaboração de suas experiências. O princípio da interação estabelece que as experiências educativas dependem igualmente das condições internas e das condições objetivas, estando ambas em interação. As condições internas são relativas ao indivíduo. Elas compreendem, entre outros, os interesses, os hábitos, as necessidades, os valores, os desejos e os aspectos cognitivos de cada pessoa. As condições objetivas, externas ao indivíduo, envolvem equipamentos, infraestrutura, recursos mediacionais e até mesmo outras pessoas com suas condições internas próprias. Assim, pode-se dizer que as experiências educativas são marcadas por interações entre pessoas e entre pessoas e objetos (materiais ou imateriais). Uma educação que privilegia o estabelecimento de experiências educativas não é caracterizada por extremos, ou seja, não privilegia as condições internas em detrimento das condições objetivas, e vice-versa.

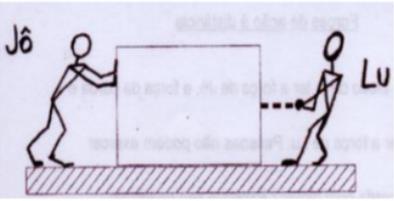
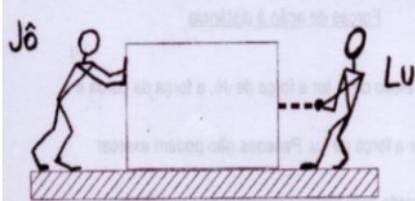
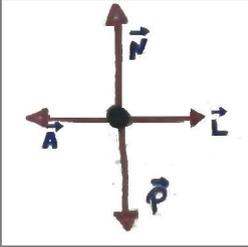
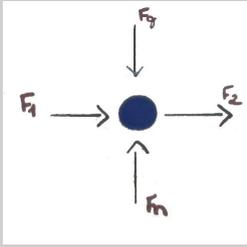
Resultados

Avaliação da Qualidade dos DCL

Na sequência de aulas analisadas, o primeiro DCL elaborado pelos estudantes foi de um objeto em repouso, empurrado por uma pessoa (Jô) e puxado por outra (Lu), por intermédio de uma corda. Esta situação está representada na figura incluída na Figura 4.

Figura 4

DCL do bloco empurrado por uma pessoa e puxado por outra, por meio de uma corda

Grupo A	Grupo B
 <p>O objeto permanece em repouso.</p>	 <p>O objeto permanece em repouso.</p>
 <p>Categoria: 2</p>	 <p>Categoria: 1</p>
<p>REPRODUÇÃO DA LEGENDA:</p> <p>P: Força exercida sobre o bloco pela Terra (peso).</p> <p>N: Força exercida pela superfície sobre o bloco (normal).</p> <p>A: Atrito é a força contrária ao movimento.</p> <p>L: soma das forças exercida por Jô e Lu sobre o bloco (força resultante).</p>	<p>REPRODUÇÃO DA LEGENDA:</p> <p>Fg: Força gravitacional sobre o bloco.</p>

Nota. Elaborado em papel A3. O negrito nas legendas elaboradas pelos estudantes do grupo A foi usado para representar vetores (os estudantes usaram letras com setas sobre elas).

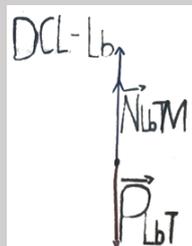
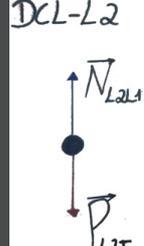
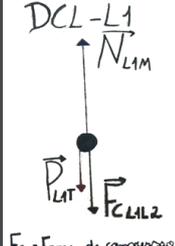
Os DCL apresentados na Figura 4 foram os primeiros elaborados pelos estudantes nas aulas de Física da 2ª série. O grupo A conseguiu elaborar um diagrama cuja resultante de forças é nula, o que está coerente com a situação física representada. Todos os vetores foram identificados e caracterizados como tal (usaram setas em cima das letras que representam as forças). Contudo, os agentes e o paciente das forças não foram indicados com índices. Em vez dos membros do grupo representarem a força exercida sobre o bloco por Jô e a força exercida sobre o bloco pela corda, eles usaram um único vetor (L). Na legenda, eles informam que essa força é a soma de outras duas. Percebe-se que eles identificaram Lu — não a corda — como o objeto que interage com o bloco. Por todas essas características, os DCL do grupo A foram categorizados como (2). O grupo B elaborou um diagrama de corpo livre cuja resultante de forças

é diferente de zero, dirigida para a direita. Isso está em desacordo com o repouso do bloco. Provavelmente, eles desconsideraram a presença de uma força de atrito exercida sobre o bloco pela superfície. As forças representadas foram identificadas por letras, mas não foram caracterizadas como vetores (faltou as setas sobre as letras). Os vetores não foram representados com as suas origens no objeto. Além disso, não indicaram os agentes e o paciente das forças por meio de índices. Por essa razão, o DLC do grupo B foi categorizado como (1).

Os grupos de estudantes elaboraram um segundo DCL em folha A3. Dessa vez, tiveram que representar as forças que agem em dois livros (objetos de interesse), um pequeno e outro grande, colocados um sobre o outro na superfície de uma mesa. A figura desta situação e os DCL produzidos pelos estudantes estão representados na Figura 5.

Figura 5

DCL dos estudantes dos grupos A e B em papel A3

Grupo A		Grupo B	
			
<p>Livro de Cima (L)</p>  <p>DCL-L</p>	<p>Livro de Baixo (L_b)</p>  <p>DCL-L_b</p>	<p>Livro de Cima (L₂)</p>  <p>DCL-L₂</p>	<p>Livro de Baixo (L₁)</p>  <p>DCL-L₁</p> <p>F_c = Força de compressão</p>
<p>Categoria: 3</p>		<p>Categoria: 1</p>	
<p>Categoria: 3</p>		<p>Categoria: 3</p>	
<p>Reprodução da Legenda:</p> <p>N: força normal. P: força peso. L: livro de cima. L_b: livro de baixo. T: Terra M: mesa</p>		<p>Reprodução da Legenda:</p> <p>N: força normal. P: força peso. F_c: força de compressão. L₁: livro de baixo. L₂: livro de cima. T: Terra M: mesa</p>	

Os estudantes do grupo A conseguiram representar de maneira satisfatória as forças que agem sobre o livro de cima. Avaliamos o diagrama do Livro de Cima como Categoria 3, pois todas as forças existentes foram corretamente representadas; o módulo, a direção e o sentido das forças são coerentes com a situação física; todas as forças foram identificadas, bem como seus agentes e pacientes. Contudo, esses mesmos estudantes falharam em representar o DCL do livro de baixo. Trata-se de uma situação fisicamente mais complexa. O Grupo A representou ali apenas duas forças: a força peso exercida sobre o livro de baixo pela Terra — \mathbf{P}_{LbT} — e a força normal exercida sobre o livro de baixo pela mesa — \mathbf{N}_{LbM} . O círculo foi incluído por nós para destacar as duas setas que não indicam dois vetores. Trata-se de uma tentativa de correção no módulo da força \mathbf{N}_{LbM} feita pelos estudantes (eles aumentaram o tamanho do vetor). Avaliamos o diagrama do livro de baixo como Categoria 1, pois ele não representa a força que o livro de cima exerce sobre o livro de baixo e o módulo da resultante das forças representadas é diferente de zero — que é incoerente com o repouso do livro. Os estudantes do grupo B foram bem sucedidos na representação do DCL dos dois livros. Ambos os diagramas foram categorizados como (3), pois todas as forças existentes foram corretamente representadas; o módulo, a direção e o sentido das forças são coerentes com a situação física; todas as forças foram identificadas, bem como seus agentes e pacientes.

Também avaliamos a qualidade de três DCL elaborados pelos estudantes em seus cadernos, como parte da resolução de um exercício proposto após o término da sequência de aulas baseada nos “Tutoriais de Física Introdutória”. Esses diagramas foram discutidos pelo grupo em sessão de resolução de exercícios. No entanto, cada estudante fez o esforço de representá-los, individualmente, em seu caderno de Física. Os resultados dessa avaliação estão disponíveis na Figura 6.

No exercício, os estudantes deveriam elaborar diagramas de corpo livre para um bloco em três situações, enumeradas nas figuras como 1, 2 e 3.

Figura 6

DCL elaborados nos cadernos dos estudantes dos grupos A e B

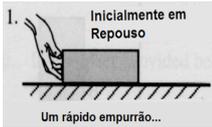
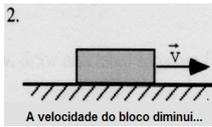
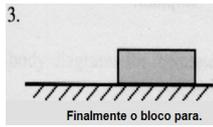
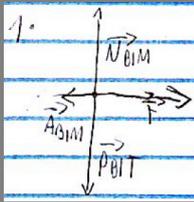
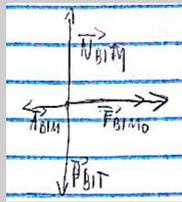
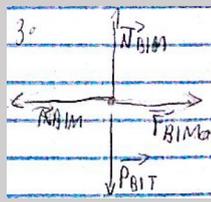
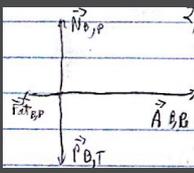
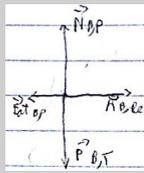
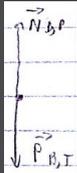
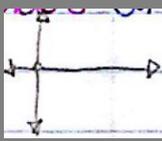
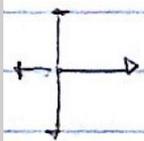
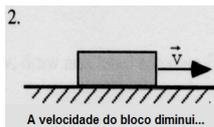
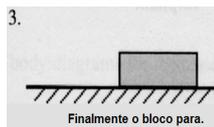
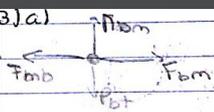
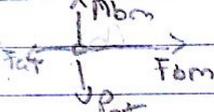
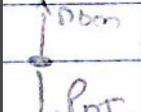
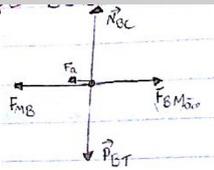
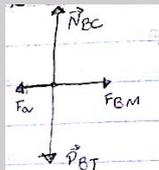
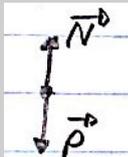
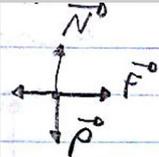
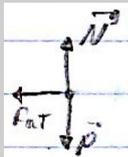
		<p>Enunciado: Um bloco inicialmente em repouso recebe um rápido empurrão. O bloco começa a deslizar pelo piso com velocidade decrescente até alcançar o repouso. Desenhe diagramas de corpo livre para cada um dos instantes mostrados. Identifique todas as forças.</p>		
		 <p>1ª Situação</p>	 <p>2ª Situação</p>	 <p>3ª Situação</p>
Grupo A	Ada	 <p>Categoria: 2</p>	 <p>Categoria: 1</p>	 <p>Categoria: 1</p>
	Isaac	 <p>Categoria: 3</p>	 <p>Categoria: 1</p>	 <p>Categoria: 3</p>
	Maria	 <p>Categoria: 2</p>	 <p>Categoria: 1</p>	 <p>Categoria: 1</p>
	Rosalinda	***	***	***

Figura 6

DCL elaborados nos cadernos dos estudantes dos grupos A e B (continuação)

		<p>Enunciado: Um bloco inicialmente em repouso recebe um rápido empurrão. O bloco começa a deslizar pelo piso com velocidade decrescente até alcançar o repouso. Desenhe diagramas de corpo livre para cada um dos instantes mostrados. Identifique todas as forças.</p>		
		 <p>1. Inicialmente em Repouso Um rápido empurrão...</p>	 <p>2. A velocidade do bloco diminui...</p>	 <p>3. Finalmente o bloco para.</p>
		1ª Situação	2ª Situação	3ª Situação
Grupo B	César	 <p>Categoria: 3</p>	 <p>Categoria: 1</p>	 <p>Categoria: 3</p>
	Lise	 <p>Categoria: 1</p>	 <p>Categoria: 1</p>	 <p>Categoria: 3</p>
	Max	***	***	***
	Ricardo	 <p>Categoria: 1</p>	 <p>Categoria: 1</p>	 <p>Categoria: 1</p>
SOMATÓRIA		12	6	12

Nota. Os asteriscos indicam ausência de registros de resolução do exercício. Número e tonalidade do pano de fundo indicam categorias descritas na Figura 3.

Para avaliar os DCL do bloco na primeira situação, consideramos duas possíveis interpretações: (i) a mão empurra o bloco, mas o mesmo ainda não entrou em movimento; (ii) a mão empurra o bloco acelerando-o para a direita.

Os estudantes dos grupos A e B tiveram dificuldades para elaborar os DCL propostos nestes exercícios. A dificuldade de elaboração do primeiro e do terceiro diagrama foi menor que a do segundo diagrama. Isso pode ser percebido pela soma dos valores atribuídos à categorização de cada DCL (ver linha somatória da Figura 6). Esse resultado pode ser interpretado da seguinte forma: O primeiro e o terceiro

DCL se referem a uma situação que poderia ter sido interpretada como de equilíbrio, que é semelhante às situações com as quais os estudantes lidaram anteriormente. Alternativamente, no primeiro DCL, os estudantes poderiam ter considerado que havia uma força resultante para a direita, responsável por acelerar o bloco. Nesse caso, há uma coincidência entre o sentido da força resultante e o sentido da velocidade do bloco. Essa é uma situação na qual a concepção de que força resultante e velocidade possuem a mesma direção e sentido não implica em erro na construção do DCL. Por outro lado, na elaboração do segundo DCL, a concepção de que força resultante e velocidade devem ter o mesmo sentido pode ter impactado na construção do diagrama. Isso porque, na situação 2, a força resultante é contrária à velocidade do bloco. Cinco dos seis estudantes apresentaram diagramas cuja força resultante está na mesma direção da velocidade do bloco; um deles representou diagrama cuja força resultante é nula.

É possível perceber uma melhoria qualitativa da primeira (Figura 4) para a segunda (Figura 5) elaboração de DCL pelos grupos de estudantes. Esse resultado está dentro do que se espera, pois, foi no primeiro DCL que se estabeleceu todas as convenções para elaboração deste tipo de representação e que se fez uma retomada das Leis de Newton, apresentadas aos estudantes no ano letivo anterior. Apesar de o grupo A ter falhado em representar o diagrama de corpo livre do livro de baixo (erro no reconhecimento das forças que agem sobre esse livro e dos módulos relativos das mesmas), houve um avanço em relação à primeira elaboração quando consideramos, por exemplo, a identificação das forças, dos agentes e dos pacientes.

Na atividade de resolução de exercícios (Figura 6), a qualidade dos DCL produzidos pelos estudantes para a primeira e para a terceira situação variou: Temos diagramas categorizados tanto como (3), quanto como (1). Olhados de forma global, esses DCL não diferem muito em qualidade dos primeiros que foram elaborados. Por exemplo, somando-se os valores das categorias atribuídas aos DCL de cada grupo nas Figuras 4 e 5 e dividindo-se pelo número de DCL elaborados por eles, temos para o grupo A um valor de 2,00 e para o grupo B um valor de 2,33. Fazendo-se o mesmo com os DCL da Figura 6, da primeira e da terceira situação, temos um valor de 2,00 para o grupo A e de 2,00 para o grupo B. Por outro lado, em relação à terceira situação, vemos que todos os estudantes falharam em representar o DCL do bloco que tem a sua velocidade reduzida. Inferimos que essa falha decorre de concepções alternativas relacionadas ao aprendizado da dinâmica, como a confusão entre força e velocidade; e a associação de uma força resultante no mesmo sentido da velocidade. Portanto, trata-se de uma falha que não significa, necessariamente, dificuldades com a representação e identificação das forças que agem sobre um objeto.

Avaliação das Experiências dos Estudantes na Elaboração dos DCL

Em artigo anterior (Faria & Vaz, 2018), analisamos as experiências que emergiram da elaboração dos diagramas de corpo livre que avaliamos na subseção anterior. Aqui, faremos uma síntese dos achados desse artigo.

Como a Teoria da Experiência de John Dewey (Dewey, 1966; 1997; 2010) foi nosso referencial teórico-metodológico, consideramos que o potencial educativo de uma experiência pode ser avaliado a partir de dois princípios, tomados em conjunto: o da continuidade e o da interação. Na subseção “estratégia de análise de dados”, apresentamos esses princípios. Agora, apresentaremos dois exemplos que mostram que as experiências dos estudantes do grupo A e do grupo B atenderam a esses dois princípios sendo, portanto, educativas.

Em relação ao princípio da continuidade, identificamos que as experiências dos estudantes do grupo A e do grupo B com as tarefas do tutorial envolveram a reelaboração de experiências passadas. Essa reelaboração se deu seja do ponto de vista de conhecimentos de domínio específico relacionados às Leis de Newton, seja do ponto de vista de estratégias de domínio geral como, por exemplo, o raciocínio baseado em evidência (RBE).

Chamamos de raciocínio baseado em evidência a estratégia geral de raciocínio que conhecemos por meio das pesquisas em Ensino de Ciências que tratam da coordenação entre teoria e evidência. Os trabalhos de Kuhn (1989) e Kuhn et al. (1988) são os precursores desta temática. A coordenação entre teoria e evidência envolve a avaliação de hipóteses com base em resultados de experimentos planejados para esse fim. A partir dessa avaliação, tais hipóteses são aceitas, reformuladas e novamente testadas ou rejeitadas (Valanides et al., 2013). As atividades didáticas que envolvem a coordenação de teoria e evidência são ricas em processos de elaboração e avaliação de argumentos. Como essa estratégia de pensamento é cognitivamente muito exigente, ela é objeto de interesse de trabalhos sobre processos argumentativos (Almudi & Ceberio, 2014). Alguns estudos identificaram o uso dessa estratégia de raciocínio por 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). Essas pesquisas também mostram que a coordenação entre teoria e evidência pode ser desenvolvida a partir de atividades apropriadas.

Neste trabalho, usamos a expressão raciocínio baseado em evidência em referência a todas as 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.

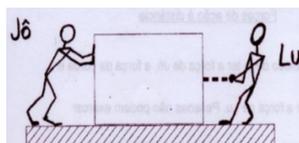
Na Figura 7, a sequência de turnos de fala exemplifica bem o tipo de reelaboração de experiência pela qual passaram os estudantes dos dois grupos. Este exemplo é de uma situação em que os estudantes do grupo A reelaboraram o próprio entendimento sobre as Leis de Newton quando usaram o RBE para confecção do DCL apresentado na Figura 4 deste artigo.

O RBE pode ser caracterizado pela tomada pelos estudantes do estado de repouso do bloco como uma evidência para embasar o raciocínio que levou à proposição de inserção ou exclusão de forças no DCL elaborado pelo grupo. É o que ocorre, por exemplo, nos turnos 22 e 25.

Figura 7

Reelaboração de experiências em episódio de RBE

Aula 07/2014 — grupo A — episódio 08: os estudantes trabalharam na tarefa de elaborar o DCL de um bloco empurrado para a direita por uma pessoa e puxado no mesmo sentido por outra pessoa (por meio de uma corda). Eles discutiram sobre a representação da força normal e sobre a representação da força de atrito no bloco.



Nº	ESTUDANTE	TURNOS DE FALA	COMENTÁRIOS
1	Isaac	Também tem uma pra cima que é do mesmo tamanho dessa aí.	Referiu-se à força normal e à força peso.
2	Ada	Que é a normal.	Isaac balançou a cabeça afirmativamente.
3	Isaac	Isso aqui tem que ser maior.	Apontou para um dos vetores desenhados na folha A3 (não identificamos qual).
4	Maria	Eu só estou desenhando...	
5	Ada	Isso é uma força normal!	
6	Isaac	Oi?	
7	Ada	Força normal. Que nomezinho [inaudível].	
8	Maria	Eu tinha lido algo sobre a normal, mas eu esqueci.	Tenta recorrer a experiências passadas.
9	Isaac	Agora você faz outra força pra cima.	Fez gesto para cima, para a margem da folha A3.
10	Maria	Por quê?	
11	Isaac	É a normal... Força normal que anula a força peso, feita pela superfície. Do mesmo tamanho que a de baixo.	
12	Rosalinda	Só eu que imaginava...	
13	Isaac	Ai você faz uma forcinha para o outro lado.	Referiu-se à força de atrito.
14	Ada	Não, é pro mesmo lado.	Pensaram na força feita por Jô, mas Isaac falava da força de atrito.
15	Maria	Pro mesmo lado.	
16	Isaac	O atrito.	
17	Ada	Ah é.	Antes dessa fala, leu as instruções escritas do tutorial.
18	Maria	Mas é a gravidade...	

Figura 7

Reelaboração de experiências em episódio de RBE (continuação)

Nº	ESTUDANTE	TURNOS DE FALA	COMENTÁRIOS
19	Rosalinda	Mas o bloco está se mexendo?	Chamou atenção para o dado do repouso.
20	Isaac	O atrito é pra lá.	Falou para Maria que desenhava o DCL na folha A3, indicando o sentido para esquerda com um gesto.
21	Ada	Ô Isaac, o bloco não está se mexendo.	Reapresentou o dado do repouso.
22	Maria	O bloco não está se mexendo então não há atrito.	RBE Utilizou RBE, mas cometeu equívoco do ponto de vista conceitual.
23	Isaac	Ah, o bloco não se mexe.	
24	Ada	Mas o Jô e o Lu estão empurrando para o mesmo lado.	Destacou nova evidência.
25	Isaac	O atrito é do mesmo tamanho que essa força pra cá, ó.	RBE Indicou a força para a direita desenhada na folha A3 que representava a soma das forças de Jô e da corda sobre o bloco. Pareceu considerar o dado do repouso do bloco e a 1ª ou a 2ª Lei de Newton para fazer essa proposição.
26	Ada	E essa força é a força do Jô e do Lu combinadas.	
27	Isaac	É.	

Entre os turnos 1 e 11, os estudantes trataram da inclusão da força normal no DCL. Em 1, Isaac propôs a inclusão dessa força no DCL. Em 11, motivado por uma pergunta de Maria, Isaac defendeu a inclusão da força normal no DCL e caracterizou essa força. Neste caso, não temos evidências que nos permitam afirmar com segurança que Isaac baseou-se no estado de repouso do bloco para propor a inclusão da força normal. Existe a possibilidade de que ele tenha se valido da lembrança de situações semelhantes.

Entre os turnos 13 e 27, os estudantes discutiram a inclusão da força de atrito no DCL. Do ponto de vista conceitual, essa discussão mostrou-se mais difícil, levando os estudantes a cometerem equívocos que foram superados graças à colaboração de todos para a resolução da tarefa. Em 21, Ada destacou a evidência do estado de repouso do bloco. Com base nessa evidência, Maria afirmou erroneamente que não havia atrito sobre o bloco (turno 22). Pareceu-nos que Maria orientou-se pelas clássicas concepções

espontâneas sobre força e movimento (Gunstone & Watts, 1985). Ada demonstrou ter notado inconsistência nesse raciocínio, pois, em 24, sugeriu considerar o dado de que Jô e Lu empurram o bloco para o mesmo lado. Na sequência, Isaac baseou-se nessa evidência e naquela explicitada no turno 21 para propor que o vetor usado para representação da força de atrito deveria ser igual em módulo e direção e oposto em sentido ao vetor usado para representação da soma das forças de Jô e de Lu.

A partir dessa sequência de turnos de fala, inferimos que os estudantes se pautaram pela 1ª ou pela 2ª e também pela 3ª Lei de Newton, seja para propor a inclusão de forças no DCL, seja para descrever essas forças. Por exemplo, no turno 11, Isaac propôs que o módulo da força peso e o módulo da força normal deveriam ser iguais. Essa afirmação está apoiada na evidência de repouso do bloco e na consideração de que a força resultante é nula sobre objetos em repouso. Situação semelhante foi verificada no episódio 25. Também no episódio 11, Isaac fez uma descrição completa da força normal com a indicação do tipo de força (normal), do agente (superfície) e do paciente (bloco). Inferimos que Isaac levou em consideração a 3ª Lei de Newton para elaborar essa descrição completa, em especial para identificar o agente da força.

Em relação ao princípio da interação, conseguimos destacar indícios de que os estudantes dos dois grupos conseguiram interagir com as condições objetivas da atividade sobre dinâmica, apesar dessa interação ter sido marcada por particularidades de cada grupo. Isso é plenamente previsível, uma vez que esse princípio foca na maneira como cada sujeito ou cada conjunto de sujeitos se relaciona com uma atividade específica. Sujeitos diferentes têm grandes chances de terem relações diferentes com uma mesma atividade. As particularidades do grupo A e grupo B no que diz respeito ao princípio da interação poderão ser consultadas em (Faria & Vaz, 2018).

Aqui, apresentaremos uma situação geral que exemplifica como as experiências dos estudantes dos grupos analisados atendem ao princípio da interação. Na Figura 8, apresentamos uma sequência de turnos de fala de um episódio onde há indícios de que os estudantes do grupo B interagiram com as condições da tarefa proposta.

O engajamento dos estudantes se orientou fortemente pelo compromisso assumido de concluírem as tarefas do tutorial sobre dinâmica no tempo delimitado pelo professor. Isso impactou a ampliação do investimento cognitivo dos estudantes nas tarefas propostas. Eles engajaram-se cognitivamente nas tarefas, mas, em diferentes momentos, deixaram de lado discussões ricas, com potencial de mantê-los cognitivamente engajados e até mesmo de ampliar esse engajamento. Muito provavelmente, isso ocorreu porque, para os estudantes, investir tempo nessas discussões os impediria de abordar todas as tarefas propostas e de apresentar o que pareceu ter sido tomado por eles como produto a ser entregue: os DCL elaborados em folhas A3.

Neste trabalho, usamos o termo engajamento para nos referir à relação que estudantes estabelecem com as atividades escolares que lhe são propostas. Essa relação se constitui no contexto e com o contexto de desenvolvimento dessas atividades. Transformações no contexto promovem mudança nas características do engajamento

exibido pelos estudantes. O engajamento é constituído por três dimensões que se inter-relacionam dinamicamente: a comportamental, a emocional e a cognitiva. A dimensão comportamental envolve a participação e as condutas positivas dos estudantes no desenvolvimento de tarefas. A dimensão emocional relaciona-se às reações afetivas e emocionais dos estudantes diante das tarefas que lhes são propostas e dos demais elementos que compõem o contexto. Interesse, felicidade, bem-estar, desgosto, ansiedade e frustração são exemplos de tais reações. A dimensão cognitiva envolve o investimento do estudante na própria aprendizagem. Ele é marcado pelo esforço empreendido pelo estudante para compreender o que é estudado e para atingir níveis mais elevados de compreensão sobre determinado tópico de estudo. O estudante engajado cognitivamente não se contenta em “completar” uma tarefa sem reflexão, não tem compromisso com o fazer por fazer. O trabalho empreendido na resolução de uma tarefa é movido pelo desejo de aprender algo novo ou de aprofundar a compreensão sobre algo que já se sabe (Faria & Vaz, 2019; Fredricks et al., 2004; Frydenberg et al., 2005; Sinatra et al., 2015).

Nesse episódio, os estudantes do grupo B também empregaram o RBE na tarefa de elaboração do DCL do bloco. Lise (no turno 5) e César (no turno 8) usaram a informação apresentada na tarefa de que o bloco se encontrava em repouso, como evidência para estruturarem as argumentações e apresentarem propostas de resolução da tarefa. Lise cometeu um erro conceitual e propôs erroneamente que não se devia representar força de atrito no DCL. César, acertadamente, articulou a evidência do repouso do bloco à sua compreensão sobre as Leis de Newton para sugerir a inclusão da força de atrito no DCL.

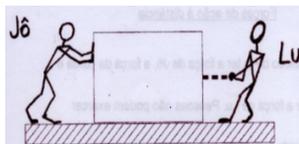
Entre o 1º e o 12º turno de fala desse episódio, há indícios do investimento cognitivo dos estudantes: eles se organizaram colaborativamente para discutir sobre a força de atrito; ouviram-se uns aos outros com respeito; apresentaram seu raciocínio, buscando embasá-lo — seja nas evidências disponíveis, seja nos conhecimentos que tinham sobre a 1ª Lei de Newton. Contudo, no 13º turno de fala, Max interrompeu a discussão em curso, motivado pelo compromisso com a conclusão da tarefa. Além de interromper a discussão, a intervenção de Max minou o investimento cognitivo do grupo na elaboração do DCL, o que empobreceu a experiência de pensamento científico do grupo B.

A discussão sobre a presença da força de atrito e as características dessa força era fundamental para o desenvolvimento da tarefa em curso, bem como das tarefas seguintes. Além disso, tratava-se de uma discussão com alto potencial de favorecer a reelaboração de experiências pelos estudantes. A intervenção de Max no turno 13 impediu a sustentação dessa experiência, comprometendo não só a qualidade da mesma como a qualidade das experiências seguintes.

Figura 8

Episódio com indícios sobre o engajamento dos estudantes nas tarefas

Aula 07/2014 — grupo B — episódio 12: os estudantes trabalharam na tarefa de elaborar o DCL de um bloco empurrado para a direita por uma pessoa e puxado no mesmo sentido por outra pessoa (por meio de uma corda). O trecho transcrito focaliza a discussão sobre a representação da força de atrito no bloco.



Nº	ESTUDANTE	TURNOS DE FALA	COMENTÁRIOS
1	Ricardo	Vai por força de atrito também?	
2	César	Nossa! Você colocou ponto móvel aqui.	
3	Max	O atrito não entra não.	
4	César	Entra!	
5	Lise	Mas o bloco não se mexe, então não vai ter.	RBE Tomou a informação sobre o estado de repouso do bloco como evidência. Elaborou raciocínio com base nessa evidência, apesar do erro conceitual cometido.
6	César	Fala que não se mexe?	
7	Lise	“Entretanto, o bloco não se mexe”.	Leu instruções do tutorial para César.
8	César	É verdade, cara. O bloco não se mexe. Eles tentam mover o bloco [...] Se a gente fosse colocar a força de atrito... Ela teria que ter a mesma força resultante do que a soma do Jô e do Lu puxando.	Alunos se entreolharam e olharam para os próprios cadernos. RBE César estruturou seu raciocínio a partir da evidência destacada por Lise e da articulação com a 1ª Lei de Newton.
9	Lise	Por que ele não conseguiu...	
10	Max	O atrito... O atrito é a força que o bloco exerce sobre a Terra.	Simultaneamente à fala de Max, Lise disse algo a César. Provavelmente, Max queria dizer que o atrito é a força que o piso exerce sobre o bloco.
11	Ricardo	Então, nesse caso, a força de atrito é maior que o vetor resultante. Você sabe, né?	

Figura 8

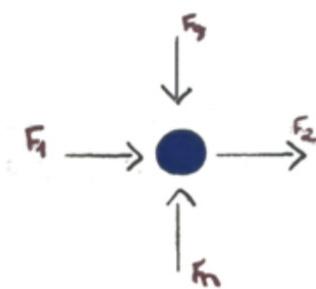
Episódio com indícios sobre o engajamento dos estudantes nas tarefas (continuação)

Nº	ESTUDANTE	TURNOS DE FALA	COMENTÁRIOS
12	César	É. Ele é maior. Não igual. Porque...	Não conseguiu concluir seu raciocínio, pois foi interrompido por Max.
13	Max	A gente só tem que desenhar os vetores. Não vamos nos preocupar com magnitude não.	Encerrou a discussão com essa fala. Estudantes passaram à tarefa seguinte.
14	Lise	Então tá.	

A Figura 9 mostra o DCL produzido pelo grupo B. Nele há uma falha grave. As forças representadas nesse DCL não estão de acordo com o estado de repouso do bloco. A soma das forças é diferente de zero, com vetor resultante para a direita. Há indícios de que César tenha percebido essa inconsistência já no episódio 12. Veja que, no 8º turno de fala desse episódio, ele considerou a inclusão da força de atrito no DCL e também a magnitude relativa das forças horizontais para que essa representação fosse coerente com a 1ª Lei de Newton. A fala de Ricardo no 11º turno influenciou César, pois, no turno seguinte, ele titubeou ao considerar a magnitude relativa das forças de atrito, de Jô e da corda sobre o bloco. Inferimos que ele teria condições de perceber essa inconsistência ao pensar no “porquê” da afirmação de Ricardo. Contudo, o estudante foi interrompido por Max.

Figura 9

DCL produzido em folha A3 pelo grupo B na aula 07/2014



Do ponto de vista emocional, o grupo B mostrou serenidade ao abordar as tarefas propostas. Os estudantes trabalharam para a resolução dessas tarefas sem grandes sobressaltos. Por consequência, não houve conflitos ou momentos de tensão na relação entre os membros do grupo. Se essa serenidade, à primeira vista, sugere falta de engajamento, mediante análise, nós consideramos que os estudantes se envolveram emocionalmente com as tarefas. Pudemos concluir isso quando identificamos que eles tiveram que solucionar discrepâncias entre suas próprias ideias e as ideias associadas aos

conceitos e leis da Física. Em episódios com essas características, vimos, por exemplo, César explicitar dúvida sobre as características do DCL elaborado pelo grupo e expressar-se com irritação e inquietação frente ao desafio cognitivo experimentado.

Com base nessa análise, consideramos que as experiências dos estudantes do grupo B também foram marcadas pela convergência entre as condições objetivas para o desenvolvimento das tarefas e as condições internas de cada estudante. Essa inferência baseia-se no engajamento que os estudantes demonstraram nas tarefas do tutorial sobre dinâmica. Esse engajamento foi marcado por particularidades, em especial por momentos em que a dimensão comportamental parece ter se sobressaído às dimensões emocional e cognitiva. Apesar disso, houve momentos nos quais os estudantes se esforçaram para solucionar as tarefas e buscaram investir na compreensão das ideias e dos conceitos a elas relacionados.

Discussão Comparativa

Os DCL elaborados pelos estudantes dos grupos A e B, apresentados nas figuras 4 a 6, apresentam qualidades variadas. No geral, o desempenho dos estudantes não foi satisfatório. Caso as rubricas que utilizamos para avaliar a qualidade dos DCL fossem usadas pelo professor para atribuir nota aos estudantes, o resultado obtido por esses estudantes seria apenas mediano.

Contudo, não podemos deixar de reconhecer que a tarefa que foi proposta a esses estudantes do Ensino Médio é difícil até mesmo para estudantes da Educação Superior, apesar de serem tarefas simples. A dificuldade enfrentada pelos estudantes é tanto em relação a apropriação dos DCL como ferramenta de comunicação, quanto no domínio da Dinâmica Newtoniana (Cf. Heckler, 2010; Pratiwi et al., 2021; Rosolio et al., 2014; Savinainen et al., 2013; Scherr & Redish, 2005; Whiteley, 1996). Também temos que reconhecer que os estudantes desempenharam bem o seu papel, ao apresentar DCL compatíveis com alguém que se encontra em processo de aprendizagem.

São nesses detalhes que reside a fragilidade da avaliação da qualidade dos DCL por meio de rubricas: esse instrumento de avaliação não dá conta do processo de aprendizagem. Ele considera apenas o produto apresentado pelos estudantes, não fazendo jus ao trabalho dos mesmos nas aulas de Física e a aprendizagem direta e indireta que surge desse trabalho.

A avaliação das experiências nos permitiu perceber que mesmo estudantes que apresentaram DCL de qualidade mais baixa passaram por experiências educativas no processo de elaboração desses diagramas: eles empreenderam discussões ricas envolvendo conhecimentos conceituais de dinâmica e estratégias de domínio geral, como o raciocínio baseado em evidência; se valeram de experiências anteriores para representar as forças que agiam sobre os objetos de interesse; e se engajaram nas tarefas relacionadas à elaboração dos DCL, ou seja, apresentaram um engajamento comportamental, emocional e cognitivo com as mesmas.

Portanto, podemos dizer que os estudantes aprenderam muito nessas aulas de Física. Fazemos essa afirmação com base na análise precedente das experiências dos estudantes e na concepção teórica de que a aprendizagem é um processo que decorre da e favorece a reelaboração de experiências pelos sujeitos (Branco, 2010; Dewey, 1997; Kruckeberg, 2006).

Considerações Finais

Esta pesquisa se orientou por três questões: O que se pode dizer sobre a qualidade dos DCL produzidos pelos estudantes nessas aulas de Física? Que tipo de experiências os estudantes tiveram com a construção desses DCL? Há relações entre a qualidade dos DCL e a qualidade das experiências dos estudantes nas tarefas de elaboração desses DCL?

Os resultados mostram que a qualidade dos DCL produzidos pelos estudantes foi variável. Tomados de maneira geral, pode-se dizer que os diagramas elaborados apresentam qualidade mediana: os estudantes conseguiram, minimamente, representar forças, bem como identificar os seus agentes e pacientes. Embora, em muitas situações, tenham cometido equívocos na identificação desses elementos e na articulação do DCL com o estado de movimento dos objetos de interesse. Esses resultados corroboram diferentes achados de pesquisas que lidam com a produção por estudantes desse tipo de inscrição científica (Heckler, 2010; Mesic et al., 2017; Pratiwi et al., 2021; Rosengrant et al., 2009; Rosolio et al., 2014; Savinainen et al., 2013).

Além disso, esses DCL são produtos intermediários do ensino-aprendizagem. Mais do que ver suas incorreções, as condições especiais de pesquisa nos permitiram observar quão educativas foram as experiências dos estudantes nas aulas de Física analisadas. Nesse quesito, o trabalho dos grupos A e B foi exemplar: eles reelaboraram suas experiências passadas com as Leis de Newton para solucionar as tarefas que lhes foram apresentadas; e se engajaram plenamente nessas tarefas, colaborando para o processo de resolução, esforçando-se para a compreensão das situações estudadas e estabelecendo vínculo emocional com o que lhes foi proposto. É inegável o potencial de reelaboração dessas experiências em situações futuras. Por isso, afirmamos que os estudantes aprenderam sobre Física, bem como sobre disposições, hábitos, atitudes e valores. Essas outras aprendizagens são denominadas como colaterais por Dewey (1997).

Há, dessa forma, um descompasso entre a avaliação dos DCL usando rubricas e a avaliação do processo de produção dos mesmos: a qualidade dos DCL não é um preditor da qualidade das experiências dos estudantes que emergem da elaboração desses diagramas e vice-versa. Embora tivéssemos consciência que as rubricas permitem a avaliação de produto e o olhar sobre as experiências dos estudantes é uma avaliação de processo, esse resultado não era, necessariamente, esperado.

Esse último resultado é instigante pois nos desafia a colocar em perspectiva tanto as metodologias de pesquisa, quanto as formas de avaliação usadas por professores em suas salas de aula.

As pesquisas que se dedicam a olhar para as inscrições científicas elaboradas por estudantes se valem de metodologias que priorizam a avaliação de produto em detrimento da avaliação do processo de aprendizagem. O trabalho de Wu e Krajcik (2006b) é um dos raros exemplares que usam esse segundo tipo de metodologia. Mas será que este cenário é irremediável? Devemos nos conformar com isso? É inegável que os dois tipos de delineamento metodológico em questão (produto e processo) têm as suas contribuições e o seu lugar nas pesquisas educacionais. Contudo, esse desequilíbrio em termos de número de pesquisas que se valem de cada um deles é, certamente, prejudicial ao campo, pois fenômenos educacionais interessantes, relevantes e pertinentes, podem estar passando despercebidos por nossa comunidade.

Como implicação dos nossos resultados para a pesquisa, fica a sinalização de que a produção e a leitura de inscrições científicas por estudantes precisam ser melhor exploradas com o auxílio de metodologias adequadas à captura dos processos de aprendizagem vivenciados por eles. O tema inscrições científicas tem sido muito explorado pela literatura, portanto, não é inédito. Contudo, há muito espaço para inovações na proposição de novas questões de pesquisa e na abordagem de novos fenômenos, que se tornam potencializadas pela adoção dessas metodologias até então raramente utilizadas.

Os nossos resultados também nos permitem trazer à discussão questões sensíveis quando se pensa nos professores e nos estudantes. A avaliação minuciosa que fizemos das experiências dos estudantes nos parece ser possível apenas em atividade de pesquisa, pois depende de detalhes que não são acessíveis aos professores durante as aulas. Os professores lidam com turmas cheias e têm que gerenciar vários processos simultâneos, com os quais não lidamos na pesquisa. Por outro lado, temos os estudantes que, apesar de engajados, com compromisso de fazer bem as atividades e de compreender os fenômenos estudados, podem ser mal avaliados pelo que conseguem apresentar em testes e provas.

As implicações dos nossos resultados para a prática docente e para a formação docente estão em chamar a atenção e fomentar discussões sobre a temática da avaliação da aprendizagem e de assuntos correlatos. A discussão sobre a importância de se pensar no processo de avaliação não é nova no campo educacional (e.g. Perrenoud, 1999). O que fazemos é trazer um caso concreto em que a avaliação da aprendizagem por meio de provas e testes não conseguiria fazer jus ao engajamento dos estudantes e às excelentes experiências educacionais pelas quais passaram nas aulas sobre Mecânica Newtoniana. O desenvolvimento da habilidade de produção de inscrições científicas é uma meta de longo prazo, que deve perpassar o currículo da Educação Básica. Assim, deve-se ter em mente que ser capaz de produzir inscrições corretas não deve ser o único objetivo educacional de uma atividade, mas um dos objetivos. Tão importante quanto esse objetivo é o de oferecer oportunidade de experiências educativas nas quais os estudantes sejam estimulados a produzir essas representações e recebam o suporte necessário para que aprendam a como fazê-lo da melhor maneira.

Oportunizar aos professores a reflexão sobre casos como os que trazemos aqui é uma forma de valorizar a sua criatividade e de conceder a eles autonomia para: propor uma diversificação dos instrumentos avaliativos adequada a sua realidade; e criar ou se apropriar de instrumentos de avaliação que permitam, ainda que de forma parcial, o reconhecimento e a valorização dos legítimos processos de aprendizagem vividos por seus estudantes.

Referências

- Adadan, E. (2013). Using Multiple Representations to Promote Grade 11 Students' Scientific Understanding of the Particle Theory of Matter. *Research in Science Education*, 43(3), 1079–1105. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9299-9>
- 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*, 13(suppl. 1), 215–236. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9528-y>
- Ainsworth, S. (2008). The Educational Value of Multiple-representations when Learning Complex Scientific Concepts. In J. K. Gilbert, M. Reinier, & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (pp. 191–208). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5_9
- Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to Learn in Science. *Science*, 333(6046), 1096–1097. <https://doi.org/10.1126/science.1204153>
- Benegas, J. (2007). Tutoriales para Física Introductoria: Una experiencia exitosa de Aprendizaje Activo de la Física. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 1(1), 32–38. http://www.lajpe.org/sep07/BENEGAS_Final.pdf
- 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. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.010110>
- Branco, M. L. (2010). O sentido da educação democrática: Revisitando o conceito de experiência educativa em John Dewey. *Educação e Pesquisa*, 36(2), 599–610. <https://doi.org/10.1590/S1517-97022010000200012>
- Dewey, J. (1966). *Democracy and Education* (30th ed). Free Press.
- Dewey, J. (1997). *Experience and Education*. Touchstone.
- Dewey, J. (2010). *Arte como Experiência*. Martins Fontes.
- Etkina, E., Brookes, D. T., & Planinšič, G. (2019). Scientific abilities. In *Investigative Science Learning Environment — When learning physics mirrors doing physics* (pp. 4–30). Morgan & Claypool. <https://doi.org/10.1088/2053-2571/ab3ebdch4>

Etkina, E., & PAER. (2018). *Rubric A: Ability to represent information in multiple ways*. <https://sites.google.com/site/scientificabilities/rubrics>

Etkina, E., Van Heuvelen, A., White-Brahmia, S., Brookes, D. T., Gentile, M., Murthy, S., Rosengrant, D., & Warren, A. (2006). Scientific abilities and their assessment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2(2), 1–15. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.020103>

Faria, A. F., & Vaz, A. M. (2018). Experiências de Pensamento Científico em Aulas de Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 23(1), 266–294. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n1p266>

Faria, A. F., & Vaz, A. M. (2019). Engajamento de estudantes em investigação escolar sobre circuitos elétricos simples. *Ensaio*, 21, e10545, 1–28. <https://doi.org/10.1590/1983-21172019210110>

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. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010101>

Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School Engagement: Potential of the Concept, State of the Evidence. *Review of Educational Research*, 74(1), 59–109. <https://doi.org/10.3102/00346543074001059>

Frydenberg, E., Ainley, M., & Russell, V. J. (2005). *Student Motivation and Engagement*. Canberra.

Gunstone, R., & Watts, M. (1985). Force and Motion. In R. Driver, G. Tiberghien, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science* (pp. 85–104). Open University Press.

Harsh, J. A., & Schmitt-Harsh, M. (2016). Instructional Strategies to Develop Graphing Skills in the College Science Classroom. *The American Biology Teacher*, 78(1), 49–56. <https://doi.org/10.1525/abt.2016.78.1.49>

Heckler, A. F. (2010). Some Consequences of Prompting Novice Physics Students to Construct Force Diagrams. *International Journal of Science Education*, 32(14), 1829–1851. <https://doi.org/10.1080/09500690903199556>

Iordanou, 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. <https://doi.org/10.1002/sce.21152>

Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96(4), 674–689. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.96.4.674>

Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The Development of Scientific Thinking Skills*. Academic Press.

- Kruckeberg, R. (2006). A Deweyan Perspective on Science Education: Constructivism, Experience, and Why We Learn Science. *Science & Education*, 15(1), 1–30. <https://doi.org/10.1007/s11191-004-4812-9>
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1998). *Tutorials in Introductory Physics — Preliminary Edition*. Prentice Hall.
- Mesic, V., Mahmutovi, S., & Hasovi, E. (2017). Free-Body Diagrams and Problem Solving in Mechanics: An Example of The Effectiveness of Self-Constructed Representations. *European Journal of Physics Education*, 7(3), 53–67. <http://www.eu-journal.org/index.php/EJPE/article/view/147>
- Paula, H. de F. e, & Borges, A. T. (2007). Avaliação e testes de explicações na Educação em Ciências. *Ciência & Educação*, 13(2), 175–192. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132007000200003>
- PEG/UW. (2013). *Preface to Tutorials in Introductory Physics*. <http://depts.washington.edu/uwpeg/tutorial/preface>
- Perrenoud, P. (1999). *Avaliação: Da excelência à regulação das aprendizagens — Entre duas lógicas*. Artes Médicas.
- Pratiwi, I. K., Kusairi, S., & Sunaryono. (2021). Analyzing students' skill in drawing a free-body diagram. *AIP Conference Proceedings*, 2330, 050009, 1–6. <https://doi.org/10.1063/5.0043440>
- Rosengrant, D., Van Heuvelen, A., & Etkina, E. (2005). Free-body diagrams: Necessary or sufficient? *AIP Conference Proceedings: Physics Education Research Conference*, 790, 177–180. <https://doi.org/10.1063/1.2084730>
- Rosengrant, D., Van Heuvelen, A., & Etkina, E. (2009). Do students use and understand free-body diagrams? *Physical Review Special Topics — Physics Education Research*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.5.010108>
- Rosolio, A., Llonch, E., & Sánchez, P. (2014). Identificación de fuerzas en situaciones de equilibrio: Un estudio con alumnos ingresantes a la universidad. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(Extra), 195–205. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/9750>
- Roth, W.-M., & Jornet, A. (2014). Toward a Theory of Experience. *Science Education*, 98(1), 106–126. <https://doi.org/10.1002/sce.21085>
- Savinainen, A., Mäkynen, A., Nieminen, P., & Viiri, J. (2013). Does using a visual-representation tool foster students' ability to identify forces and construct free-body diagrams? *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9(1), 010104. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.010104>
- Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2005). Newton's Zeroth Law: Learning from Listening to Our Students. *The Physics Teacher*, 43(1), 41–45. <https://doi.org/10.1119/1.1845990>

- Sinatra, G. M., Heddy, B. C., & Lombardi, D. (2015). The Challenges of Defining and Measuring Student Engagement in Science. *Educational Psychologist*, 50(1), 1–13. https://doi.org/10.1080/00461520.2014.1002924#.VRWUy3Xd_C
- Sirait, J., Hamdani, & Mursyid, S. (2018). Students' understanding of forces: Force diagrams on horizontal and inclined plane. *Journal of Physics: Conference Series*, 997, 012030, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/997/1/012030>
- Tuyarot, D. E., & Eiras, W. da C. S. (30 de janeiro a 03 de fevereiro, 2011). *Investigando os "Tutoriais em Física Introdutória" no Ensino Médio*. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), Manaus, Amazonas.
- Valanides, N., Papageorgiou, M., & Angeli, C. (2013). Scientific Investigations of Elementary School Children. *Journal of Science Education and Technology*, 23(1), 26–36. <http://dx.doi.org/10.1007/s10956-013-9448-6>
- Waldrup, S., & Waldrup, B. (2014). Impact of a representational approach on students' reasoning and conceptual understanding in learning mechanics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12(1), 741–765. <https://doi.org/10.1007/s10763-013-9431-y>
- Whiteley, P. (1996). Using free body diagrams as a diagnostic instrument. *Physics Education*, 31(5), 309–313. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/31/5/021>
- Wu, H. K., & Krajcik, J. S. (2006a). Exploring middle school students' use of inscriptions in project-based science classrooms. *Science Education*, 90(5), 852–873. <https://doi.org/10.1002/sce.20154>
- Wu, H. K., & Krajcik, J. S. (2006b). Inscriptional practices in two inquiry-based classrooms: A case study of seventh graders' use of data tables and graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(1), 63–95. <https://doi.org/10.1002/tea.20092>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s10972-007-9054-7>

 **Alexandre F. Faria**

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
affaria@ufmg.br

 **Arnaldo M. Vaz**

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
arnaldovaz@ufmg.br

Editora Responsável

Aline Andréia Nicolli

Manifestação de Atenção às Boas Práticas Científicas e de Isenção de Interesse

Os autores declaram ter cuidado de aspectos éticos ao longo do desenvolvimento da pesquisa e não ter qualquer interesse concorrente ou relações pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado no texto.
