

# Qualidade de Diagramas de Corpo Livre e Experiências Educativas em Aulas de Física

## Quality of Free-Body Diagrams and Educative Experience in Physics Classes

**Alexandre F. Faria**

Colégio Técnico da UFMG

[affaria@ufmg.br](mailto:affaria@ufmg.br)

**Arnaldo M. Vaz**

Colégio Técnico e Programa de Pós-Graduação em Educação da UFMG

[arnaldo@coltec.ufmg.br](mailto:arnaldo@coltec.ufmg.br)

### Resumo

Anteriormente, identificamos dois grupos de estudantes que tiveram experiências educativas em aulas de física nas quais elaboraram diagramas de corpo livre (DCL) de objetos em situações diversas. Agora, relatamos os resultados de uma pesquisa sobre a qualidade dos DCLs produzidos por aqueles mesmos grupos. Queríamos saber se a qualidade dos DCLs nos informa sobre a qualidade das experiências educativas dos estudantes em suas aulas de física. Participaram oito estudantes de uma turma da 2ª série do Ensino Médio de uma escola pública Federal. Fotografamos os DCLs elaborados pelos estudantes. Recorremos a rubricas encontradas na literatura de pesquisa; sistema que permite avaliar a qualidade dos DCLs dos estudantes. Os resultados indicam que a qualidade dos DCLs nada diz sobre as experiências dos estudantes no processo de construção desses diagramas.

**Palavras chave:** inscrições científicas, diagrama de corpo livre, experiência educativa, ensino de física.

### Abstract

Previously, we identified two groups that had educative experiences in physics classes in which developed free-body diagrams (FBD) of objects in different situations. Now, we reported the results of a research about the quality of FBD developed by these same students groups. We want to know if the quality of FBD tells us about the quality of students' educative experiences in their physics classes. Participated of research eight students of two groups of 11<sup>th</sup> classroom in a Brazilian federal school. We snapshot the FBD developed by the students. We used systematized rubrics to evaluate the quality of FBD made by students. Our results show that the quality of FBD don't inform about the students' experiences in the processes of construction of these diagrams.

**Key words:** scientific inscriptions, free-body diagram, educative experience, physics teaching.

## Introdução

Diagramas de corpo livre (DCL) são um exemplo de inscrição científica. Esses diagramas permitem representar as forças exercidas sobre um objeto de interesse. Em geral, o objeto de interesse é representado por um ponto de onde se originam vetores que simbolizam as forças que outros objetos exercem sobre ele (Cf. ROSENGRANT; VAN HEUVELEN; ETKINA, 2009). O termo inscrição científica designa representações gráficas e pictóricas como, p. ex., figuras, esquemas e gráficos. As inscrições científicas favorecem a comunicação de ideias e 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; PRAIN; TYTLER, 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 (ADADAN, 2013; AINSWORTH, 2008; AINSWORTH; PRAIN; TYTLER, 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). Aí reside uma lacuna importante a ser explorada por novos estudos da área: são raras as pesquisas como a de Wu e Krajcik (2006b) que se propõem a investigar o processo de desenvolvimento dessas habilidades.

Enveredamos por essa lacuna. Conduzimos um estudo em aulas de Física sobre dinâmica em que estudantes elaboram e interpretam DCLs de objetos em situações diversas. Propusemos responder à seguinte questão: O que a qualidade dos diagramas de corpo livre nos informa sobre a qualidade das experiências educativas dos estudantes em suas aulas de física?

## Referenciais

Pesquisas indicam que o domínio e o uso consciente de DCL para a resolução de problemas de física contribui para o sucesso na tarefa e para o desenvolvimento conceitual de estudantes (MESIC; MAHMUTOVI; HASOVI, 2017; ROSENGRANT; VAN HEUVELEN; ETKINA, 2009). Savinainen et al (2013), valendo-se do entendimento que são bem sucedidos na elaboração de DCLs quem reconhece que forças decorrem da interação entre objetos, propuseram uma heurística de apoio à construção de DCLs: a elaboração de diagramas de interação. Os diagramas de interação explicitam quais são os outros objetos interagem com o

objeto de interesse, bem como a natureza da interação entre eles. A avaliação dessa heurística indica que a elaboração correta de diagramas de interação pelos estudantes potencializa a construção de DCLs adequados.

Em nossa pesquisa, buscamos avançar em relação a esses estudos. Propusemos abordar um aspecto bem localizado do processo de desenvolvimento da habilidade de produzir DCLs. Queríamos saber se existe alguma relação entre a qualidade dos DCLs produzidos por estudantes e a qualidade de suas experiências envolvendo a elaboração desses diagramas.

As experiências são processos vitais, 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). Porém, nem toda experiência tem o potencial de promover o desenvolvimento, possibilitando ações inteligentes em situações novas. Há experiências educativas, assim como experiências deseducativas.

Dewey (1997) propõe os princípios da continuidade e da interação para que, em conjunto, permitem a avaliação do potencial educativo de experiências. 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 os extremos, ou seja, não privilegia as condições internas em detrimento das condições objetivas, e vice-versa.

## **Delineamento Metodológico**

A pesquisa foi conduzida numa turma da 2ª série do Ensino Médio de uma escola pública de CIDADE XXX vinculada a uma universidade federal. Participaram 2 grupos (A e B) com 4 estudantes cada, 15-17 anos, dos cursos técnicos concomitantes em Eletrônica e Informática. A escolha desses grupos se deu com base na assiduidade às aulas de Física. Na coleta dos dados, foram desenvolvidas atividades sobre dinâmica inspiradas pelos Tutoriais de Física Introdutória (MCDERMOTT; SHAFFER, 1998).

Conhecemos a qualidade das experiências dos estudantes dos grupos A e B. Resultados de trabalho anterior nos ajudou a perceber que os dois grupos passaram por experiências educativas com qualidades distintas (FARIA; VAZ, 2018). O que as diferenciou foi a forma como os integrantes do grupo A e do grupo B interagiram com as condições materiais e imateriais do contexto de desenvolvimento das tarefas. Os estudantes do grupo A valorizaram as oportunidades de aprendizagem constituídas no grupo através da discussão detalhada dos fenômenos colocados em discussão nas tarefas, bem como do cuidado em levar a cabo todas

essas discussões. Os estudantes do grupo B, em diferentes oportunidades, priorizaram a busca pela conclusão das tarefas no tempo disponibilizado pelo professor em detrimento das oportunidades de aprendizagem constituídas no grupo. O engajamento dos estudantes ora se pautou pelo compromisso com a própria aprendizagem, ora se pautou pelo compromisso em concluir as tarefas a qualquer custo. Esse resultado prévio sobre a qualidade das experiências dos estudantes será confrontado com o resultado da avaliação dos diagramas de corpo livre (DCL) produzidos pelos estudantes.

Adaptamos e utilizamos as rubricas para avaliação de DCLs (quadro 1) elaboradas por Eugenia Etkina e parceiros (2018). O termo rubrica é designado para se referir a um sistema de categorias para avaliação, por exemplo, de tarefas realizadas por estudantes. A rubrica para avaliação de DCLs é constituída por 4 categorias numa escala de 0 a 3. Para facilitar a identificação de padrões, associamos tons de cinza a essa escala numérica.





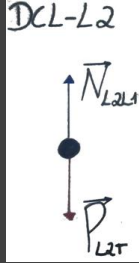
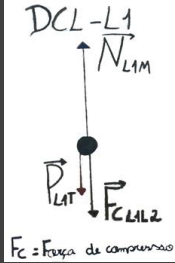
|   |   |
|---|---|
| 0 | Estudante não construiu um DCL.   |
| 1 | DCL apresenta erros fundamentais como: representação de força inexistente ou de forças com módulo, direção ou sentido incorretos; forças que deixam de ser representadas.   |
| 2 | DCL com vetores corretamente representados, mas apresenta 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.  |

Quadro 1: Rubrica para avaliação dos DCLs adaptada de Etkina e PAER (2018).

Avaliamos 2 DCLs produzidos colaborativamente pelos estudantes de cada grupo, em folha A3, numa sequência de 3 aulas sobre dinâmica newtoniana. Em seguida, avaliamos 3 DCLs que os estudantes elaboraram nos próprios cadernos durante resolução de exercícios em grupo, propostos ao final da sequência didática sobre dinâmica. Na apresentação dos resultados, os DCLs elaborados pelos estudantes foram reproduzidos em quadros. A avaliação que fizemos dos DCLs foi apresentada nesses quadros através de escala de cinza aplicada às células e de numeração colocada logo abaixo de cada DCL avaliado, conforme categorias apresentadas no quadro 1.

## Resultados

O quadro 2 refere-se à avaliação dos DCLs elaborados colaborativamente em folha A3. Nele, está ilustrada a situação física em questão: dois livros (objetos de interesse), um pequeno e outro grande, colocados um sobre o outro na superfície de uma mesa.

| Grupo A  |   | Grupo B   |   |
|--|---|---|---|
|   |   |   |   |
| <p><b>Livro de Cima (L)</b></p>  <p>3</p> | <p><b>Livro de Baixo (L<sub>b</sub>)</b></p>  <p>1</p> | <p><b>Livro de Cima (L<sub>2</sub>)</b></p>  <p>3</p> | <p><b>Livro de Baixo (L<sub>1</sub>)</b></p>  <p>3</p> |

Quadro 2: DCLs dos estudantes dos grupos A e B em papel A3.

Os estudantes do grupo A conseguiram representar de maneira satisfatória as forças que agem sobre o livro de cima. Esse diagrama foi categorizado como “3”, pois: (i) todas as forças existentes foram representadas; (ii) o módulo, a direção e o sentido das forças são coerentes com situação física; (iii) 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. Nesse DCL há apenas duas forças representadas: a força peso exercida sobre o livro de baixo pela Terra –  $P_{LbT}$  – e a força normal exercida sobre o livro de baixo pela mesa –  $N_{LbM}$ . O círculo pontilhado destaca duas setas que não indicam dois vetores. Trata-se de uma tentativa de correção no módulo da força  $N_{LbM}$  feita pelos estudantes. Esse diagrama foi categorizado como “1”, pois: (i) deixou de representar a força que o livro de cima exerce sobre o livro de baixo; (ii) o módulo das forças representadas leva a uma força resultante diferente de zero, o 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 apresentam as mesmas qualidades do DCL do livro de cima elaborado pelo grupo A, descritas acima.

No quadro 3, apresentamos a avaliação dos DCLs nos cadernos dos estudantes. Essa avaliação seguiu os mesmos critérios para julgar os diagramas do quadro 2.

|         |           | 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. |                                     |                             |
|---------|-----------|--|-------------------------------------|-----------------------------|
|         |           | 1. Inicialmente em Repouso<br>Um rápido empurrão...  | 2. A velocidade do bloco diminui... | 3. Finalmente o bloco para. |
| Grupo A | Ada       |  |                                     |                             |
|         | Isaac     |  |                                     |                             |
|         | Maria     |  |                                     |                             |
|         | Rosalinda | ***  | ***                                 | ***                         |
| Grupo B | César     |  |                                     |                             |
|         | Lise      |  |                                     |                             |
|         | Max       | ***  | ***                                 | ***                         |
|         | Ricardo   |  |                                     |                             |

Quadro 3: DCLs elaborados nos cadernos dos estudantes dos grupos A e B. Os asteriscos indicam ausência de registros de resolução do exercício.

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

Os resultados do quadro 3 indicam que os estudantes tiveram dificuldades em elaborar bons diagramas, apesar de terem passado por experiências educativas nas aulas anteriores. O grupo B se saiu melhor na elaboração dos DCLs dos livros (quadro 2), mas isso não implicou na produção de melhores DCLs na resolução de exercícios (quadro 3). Há uma semelhança no desempenho dos estudantes dos grupos A e B. As características desses DCLs permitem inferir que a dificuldade dos estudantes pareceu residir na incompreensão das forças que agem sobre o objeto de interesse em cada uma das três situações apresentadas no exercício. Isso porque a ausência de forças ou a representação de forças inexistentes foi a principal causa de erro.

## Considerações Finais

A qualidade dos DCLs não pode ser tomado como um indicador da qualidade das experiências dos estudantes. Os dois grupos tiveram experiências educativas com qualidades distintas, como mostramos em Faria e Vaz (2018). Os estudantes do grupo A tiveram experiências muito ricas, orientados para a compreensão dos fenômenos e discussão detalhada das tarefas propostas pelo professor, ainda que isso tomasse muito tempo e se revelasse emocionalmente desgastante. Os estudantes do grupo B também buscaram compreender os fenômenos e discuti-los com os colegas, mas priorizaram as ações voltadas para a conclusão das tarefas no tempo da aula ainda que, para isso, tivessem que interromper discussões importantes.

O grupo B foi bem-sucedido na elaboração coletiva do DCL dos livros, o grupo A não. Esse resultado não é coerente com as experiências do grupo A. As discussões travadas no grupo com vistas à elaboração do DCL dos livros foram interessantes e produtivas, mas não garantiram a elaboração de um DCL correto para o livro de baixo. A qualidade dos DCLs elaborados por cada estudante em seus cadernos, em resolução de exercícios, também não retrata a qualidade das experiências nas aulas sobre dinâmica newtoniana. A maior parte desses DCLs traz erros na representação das forças. Os estudantes dos grupos A e B parecem ter enfrentado dificuldades semelhantes, pois cometeram erros parecidos. É possível afirmar que, para os grupos analisados, o processo de aprendizagem foi de ótima qualidade, caracterizado por experiências educativas; o mesmo não pode ser dito sobre o produto elaborado pelos estudantes nas aulas (diagramas de corpo livre).

Esses resultados tem uma implicação que pode interessar tanto o ensino quanto a pesquisa sobre o ensino: o resultado em provas ou teste/pré-teste é um indicador importante, mas que, sozinho, pouco revela sobre a qualidade de processos de aprendizagem dos estudantes.

## Referências

ADADAN, E. Using Multiple Representations to Promote Grade 11 Students' Scientific Understanding of the Particle Theory of Matter. *Research in Science Education*, v. 43, n. 3, p. 1079–1105, 2013.

- AINSWORTH, S. The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts. In: GILBERT, J. K.; REINER, M.; NAKHLEH, M. (Org.). . *Visualization: Theory and practice in science education*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. p. 191–208.
- AINSWORTH, S.; PRAIN, V.; TYTLER, R. Drawing to Learn in Science. *Science*, v. 333, n. August, p. 1096–1097, 2011.
- DEWEY, J. *Experience and Education*. New York: Touchstone, 1997.
- ETKINA, E.; PAER. *Rubric A: Ability to represent information in multiple ways*. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/scientificabilities/rubrics>>. 2018
- FARIA, A. F.; VAZ, A. M. Experiências de Pensamento Científico em Aulas de Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 23, n. 1, p. 266, 2018. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/1058>>.
- HARSH, J. A.; SCHMITT-HARSH, M. Instructional Strategies to Develop Graphing Skills in the College Science Classroom. *The American Biology Teacher*, v. 78, n. 1, p. 49–56, 2016.
- MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P. S. *Tutorials in Introductory Physics - Preliminary Edition*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.
- MESIC, V.; MAHMUTOVI, S.; HASOVI, E. Free-Body Diagrams and Problem Solving in Mechanics : An Example of The Effectiveness of Self-Constructed Representations. *European Journal of Physics Education*, v. 7, n. 3, p. 53–67, 2017.
- ROSENGRANT, D.; VAN HEUVELEN, A.; ETKINA, E. Do students use and understand free-body diagrams? *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, v. 5, n. 1, p. 1–13, 2009.
- ROTH, W.-M.; JORNET, A. Toward a Theory of Experience. *Science Education*, v. 98, n. 1, p. 106–126, 22 jan. 2014. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/sce.21085>>. Acesso em: 2 abr. 2014.
- SAVINAINEN, A. *et al.* Does using a visual-representation tool foster students’ ability to identify forces and construct free-body diagrams? *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2013.
- WU, H. K.; KRAJCIK, J. S. Exploring middle school students’ use of inscriptions in project-based science classrooms. *Science Education*, v. 90, n. 5, p. 852–873, 2006a.
- WU, H. K.; KRAJCIK, J. S. 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*, v. 43, n. 1, p. 63–95, 2006b.