

ENSINANDO FÍSICA CONCEITUAL E UMA PROPOSTA DE ESTUDO DAS DIFICULDADES DOS ESTUDANTES

TEACHING CONCEPTUAL PHYSICS AND A PROPOSAL TO STUDY STUDENTS DIFFICULTIES

José Guilherme Moreira

UFMG, ICEx, Departamento de Física – jmoreira@fisica.ufmg.br

Resumo

Neste trabalho, relato a experiência com duas disciplinas de Física Conceitual que são ofertadas para os estudantes do curso de Física, em especial para os da Licenciatura, desde 2006. Apresento a motivação para essa oferta, descrevo a dinâmica utilizada nas disciplinas, que tem alta participação dos estudantes, e relato o impacto que está tendo no curso. A seguir, apresento alguns exemplos de questões discutidas nas disciplinas e as dúvidas dos estudantes nessas questões – isso aponta um tema que precisa ser melhor entendido: o que leva alunos nesse nível de formação, quase no final da graduação, ainda terem dificuldades desse tipo. Apresento então uma proposta de estudo a ser realizado com esse público – estudantes no final do curso de Física – para tentar levantar os motivos dessas dificuldades. Concluo defendendo a importância dessas disciplinas, principalmente, mas não exclusivamente, para a Licenciatura, e a relevância de se tentar levantar os fatores que levaram a essas lacunas na formação.

Palavras-chave: Física Conceitual, Física no Ensino Médio, Metodologias Ativas de Aprendizagem.

Abstract

In this paper, I report the experience with two disciplines of Conceptual Physics that have been offered to students of the Physics course, especially those of the Degree, since 2006. I present the motivation for this offer, I describe the dynamics used in the disciplines, which have high student participation, and report the impact it is having on the course. Below, I present some examples of issues discussed in the disciplines and the students' doubts on these issues - this points to a theme that needs to be better understood: what leads students at this level of education, almost at the end of graduation, to still have such difficulties. I then present a proposal for a study to be carried out with this audience – students at the end of the Physics course – to try to raise the reasons for these difficulties. I conclude by defending the importance of these disciplines, mainly, but not exclusively, for the Degree, and the relevance of trying to raise the factors that led to these gaps in training.

Keywords: Conceptual Physics, Physics in High School, Active Learning Methodologies.

Introdução

No início dos anos 2000, alguns alunos da Licenciatura, quase concluintes do curso, me relataram as dificuldades que eles tinham em responder a questões do cotidiano e/ou a abordá-las sem utilizar um enfoque matemático. Isso me motivou a propor duas disciplinas de 60 h cada que fizessem uma revisão da Física que pode ser abordada no Ensino Médio com um enfoque Conceitual. Um relato mais detalhado dessa experiência foi publicado recentemente (MOREIRA, 2020).

Nessa época, já tinha sido traduzido o livro Física Conceitual, do Hewitt (2002), que apresenta o conteúdo de física no nível do Ensino Médio sem formalismo, mas não é superficial. Eu também tive contato com algumas pesquisas desenvolvidas nos EUA nos anos 1990 que sinalizavam para um ensino de física com menos formalismo, com maior participação dos alunos – McDermott (1993), Arons (1997) – e com uma proposta de uma metodologia ativa de ensino – Mazur (1997).

A maior parte deste trabalho é um relato dessa experiência que completou 14 anos. Inicialmente, apresentarei as condições que me levaram a propor essas disciplinas, citando os trabalhos que me influenciaram na definição da dinâmica utilizada. Em seguida, detalharei essa dinâmica, descreverei o impacto que essa proposta teve no curso de Física e apresentarei alguns exemplos de questões discutidas com as dificuldades dos estudantes em respondê-las corretamente. Após esse relato, apresento uma proposta de estudo a ser realizado com esse público – estudantes no final da Licenciatura e do Bacharelado em Física – para tentar levantar os motivos dessas dificuldades. No final, apresentarei algumas conclusões que podemos tirar desta experiência e as perspectivas desse estudo.

Ensinando Física Conceitual

O curso de Física em que leciono tem a estrutura tradicional: os estudantes, que já tiveram contato com tópicos de física no Ensino Médio – mecânica, calor, ondas e ótica, eletromagnetismo –, quando entram no Ensino Superior revisitam esses tópicos com mais profundidade e com um formalismo matemático mais elaborado. Com essa formação espera-se que o estudante tenha um domínio formal dos principais conceitos físicos.

Na sequência do curso, os estudantes de Licenciatura fazem uma série de disciplinas relacionadas com a prática de ensino e os estágios, além de se aprofundarem um pouco mais nos conteúdos de física, em especial na denominada física moderna. A maior parte das disciplinas de prática de ensino é ministrada no Departamento de Física e o restante no Departamento de Métodos e Técnicas de Ensino da Faculdade de Educação, que também é responsável pelos estágios. Nessas disciplinas, é natural haver discussões conceituais sobre os conteúdos de física envolvidos, mas não é esse o enfoque principal.

Por outro lado, os Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1999), já na primeira versão, sinalizavam para a importância de um ensino de física mais contextualizado. No entanto, a formação que era dada aos licenciandos, tanto nas disciplinas básicas, quanto nas disciplinas mais avançadas, não tinha esse enfoque. Havia, e ainda há, uma grande preocupação com o formalismo, o que, sem dúvida, é essencial para a formação geral, mas é insuficiente quando se pensa na formação do futuro professor de Ensino Médio. Assim, a oferta de disciplinas que tivessem

uma abordagem conceitual, com discussão de problemas contextualizados, se fazia necessário.

Além disso, a maioria dos livros-texto de Física básica tem uma grande preocupação com a resolução de problemas, mas pouca atenção é dada aos conceitos físicos envolvidos no fenômeno que está sendo analisado. Dessa forma, é usual o estudante saber resolver um problema – conhece a fórmula e substitui os números direito –, mas é incapaz de detalhar corretamente os conceitos físicos envolvidos. Assim, um dos objetivos das disciplinas propostas é apresentar para os estudantes uma forma de raciocínio que não está presente na maioria desses livros-texto. A expectativa é que, com o desenvolvimento desse raciocínio, o futuro professor consiga descrever e explicar um fenômeno físico sem ter que utilizar o jargão matemático.

Outra questão era decidir que metodologia utilizar para apresentar esse conteúdo e raciocínio. No início dos anos 2000, eu tive contato com algumas experiências em ensino de física desenvolvidas nos EUA – McDermot (1993), Arons (1997) – que sinalizavam para a importância de um ensino de física com maior participação dos alunos para que se atingisse uma aprendizagem significativa. Segundo McDermott (1993), “aprendizagem significativa, quer dizer, da habilidade de interpretar e utilizar o conhecimento em situações diferentes daquelas em que ele foi inicialmente adquirido”, e que isso “requer que os estudantes estejam intelectualmente ativos”. Nesse trabalho, ela também chama a atenção para o fato de que “Questões que requeiram raciocínio qualitativo e explicação verbal são essenciais”.

Eu também tive contato com o livro de Mazur (1997), no qual ele propõe uma metodologia ativa de ensino, com alto grau de interação entre os estudantes na sala de aula. Um dos argumentos que ele utiliza é o de que “o aluno consegue explicar determinada questão ao colega melhor do que o professor, porque quanto mais se sabe sobre um assunto, mais difícil se torna explicá-lo, mais depressa se esquecem as dificuldades conceituais” (Mazur, 2003).

Influenciado por esses trabalhos, decidi propor duas disciplinas – Física Conceitual I e II, com 60 h cada – em que utilizo uma metodologia na qual os alunos têm que ficar intelectualmente ativos, ou seja, são estimulados a pensar, e há bastante interação ativa entre eles. Além disso, essas disciplinas têm um enfoque conceitual, discutindo questões contextualizadas no cotidiano dos estudantes e, quase sempre, exigindo respostas verbais.

O livro do Hewitt (2002) é o livro-texto e o objetivo é rever e aprofundar os principais conceitos básicos de Física que podem ser abordados no Ensino Médio. São também apresentados alguns temas que podem estar além, mas que eu considero que o professor de Física tem que saber para poder responder a questões do dia-a-dia, p.ex., o caráter vetorial do torque e sua relação com o momento angular.

Nessa proposta, a Física Conceitual I cobre os tópicos de mecânica, propriedades da matéria e física térmica e a Física Conceitual II, os tópicos de vibrações e ondas, eletromagnetismo, luz, física atômica e nuclear e teoria da relatividade. Esses tópicos são abordados no nível do livro, ou seja, ensino médio, sem utilização de formalismo matemático, mas algumas questões um pouco mais aprofundadas também são apresentadas. A maioria das questões tem um enfoque mais qualitativo – se relata uma situação e se pede para o estudante explicar por

que isso acontece dessa forma – ou semiquantitativo – a mudança de um parâmetro fará com uma grandeza fique maior, menor ou permaneça com o mesmo valor. Poucas questões têm abordagem quantitativa e são principalmente do tipo “Estime ...”. À frente, apresentarei alguns exemplos dessas questões.

A dinâmica do curso consta da divisão da turma em grupos de quatro, máximo cinco alunos, que, em cada aula, devem responder a um questionário com perto de dez perguntas. As respostas devem ser dadas no nível do livro, ou seja, um estudante do ensino médio deve ter capacidade de entendê-las. Elas não devem ser extensas, mas não podem ser sucintas, ou seja, não podem pular etapas do raciocínio. Respostas que se limitem a apresentar uma fórmula são altamente desincentivadas, assim como aquelas que utilizam formalismo matemático. O tema de cada aula é avisado no início do curso e é basicamente um dos capítulos do livro que o aluno deve ler antes da aula. As respostas de cada grupo às perguntas desse questionário são corrigidas e entregues ao grupo na aula seguinte – esse *feedback* rápido é muito importante. A cada quatro ou cinco questionários, acontece uma aula em que são apresentadas as principais dúvidas que apareceram em cada capítulo.

Com essa dinâmica, se consegue o que foi descrito na seção anterior: alta participação dos alunos, que têm que ficar intelectualmente ativos, e um ambiente de ensino colaborativo, com bastante interação entre eles. Essa dinâmica de discussão nos grupos foi detalhadamente analisada na Tese de Doutorado em Educação de Mendonça (2019).

Essas duas disciplinas estão sendo ofertadas desde 2006/1. Nesses 28 semestres, foram ofertadas 23 turmas de Física Conceitual I e 21 de Física Conceitual II. Um total de 545 estudantes se matricularam na primeira e 386 estudantes na segunda. A maioria desses estudantes é da Licenciatura, mas mais recentemente, tem havido uma demanda de alunos do Bacharelado, em especial nas turmas do diurno¹.

Nas aulas em que os grupos têm que responder aos questionários, o índice de participação é enorme – só um ou dois ausentes e os alunos permanecem ativos por aproximadamente 90 minutos; nas aulas de dúvidas, em que o professor faz uma exposição discutindo as questões em que eles tiveram mais dificuldades, o índice de presença fica acima de 60% – vale ressaltar que, no dia seguinte, o professor envia aos alunos um arquivo pdf com essa aula.

Devido à grande aceitação dessas duas disciplinas pelos estudantes e o impacto em sua formação, em especial dos licenciandos, na nova estrutura curricular implantada em 2019, o Colegiado do curso decidiu que passem a ser disciplinas obrigatórias para a Licenciatura e optativas para o Bacharelado.

Exemplos de Questões

Nesta seção apresento três questões – uma qualitativa, uma semiquantitativa e uma quantitativa – que foram escolhidas para também mostrar alguns conceitos que usualmente os estudantes têm dificuldades.

O exemplo de questão qualitativa aborda o conceito de força de atrito estático e de atrito cinético.

¹ O curso de Física no diurno é ofertado nas modalidades Bacharelado e Licenciatura e, no noturno, somente Licenciatura.

- A. Pode uma força de atrito **estático** atuando sobre um objeto fazer esse objeto aumentar sua velocidade? Caso não possa explique por quê. Caso possa, dê exemplos.
- B. E uma força de atrito **cinético**, pode fazer um objeto aumentar sua velocidade?

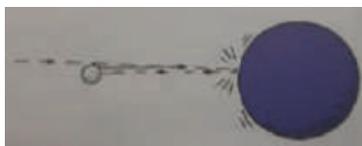
Fonte: Questão retirada do curso de Física Conceitual, em elaboração.

Para o item A, a resposta esperada é afirmativa, e os exemplos abordados podem ser de uma pessoa andando quando ela leva seu pé para trás e, por atrito, o solo a empurra para a frente; ou de um carro arrancando com o pneu não deslizando; ou de uma caixa solta sobre a carroceria de uma caminhão, quando este arranca, é a força de atrito com a superfície do caminhão que acelera a caixa. Para o item B, a resposta é a mesma só que agora o pé vai patinar, o pneu derrapar e a caixa deslizará.

Essa questão está um pouco além do nível do livro-texto que apresenta a força de atrito, mas não detalha em atrito estático e cinético, mas considero que é uma questão que avalia bem o entendimento da 2ª Lei de Newton – se há uma força resultante, há aceleração. A maioria dos alunos não tem dificuldade com o item A dessa questão, embora alguns pensem que, como a força de atrito é dissipativa, não poderia exercer trabalho positivo, mas na discussão de grupo acaba prevalecendo a resposta correta. O mesmo não acontece com o item B, onde a resposta negativa é frequente, o que sinaliza que o entendimento da 2ª Lei não está tão claro.

Como exemplo de questão semiquantitativa apresento um problema do livro do Hewitt que está relacionada com as conservações de *momentum* e energia.

Uma bola de golfe é arremessada contra uma bola muito massiva inicialmente em repouso e ricocheteia nela.



- A) Após a colisão qual das duas bolas tem maior *momentum* (em módulo)?
 B) Que bola terá mais energia cinética após a colisão?

Fonte: Questão retirada do livro Física Conceitual, de P. HEWITT, 9ª ed. (2002), p.131.

No item A, os estudantes devem notar que o *momentum* antes da colisão está com sentido para a direita e, por conservação, tem que continuar nesse sentido e, assim, a bola de boliche tem maior *momentum*. No item B, eles devem reparar na figura que a velocidade da bola de golfe não diminuiu apreciavelmente, logo, por conservação da energia, a bola de golfe deve ter mais energia cinética.

Esta questão é uma excelente aplicação da conservação do *momentum* e um bom exemplo para mostrar a diferença entre *momentum* e energia cinética. A dificuldade dos alunos com esta questão, em especial no item B, é que não são fornecidos valores numéricos e é impossível fazer contas. O item A, depois de alguma discussão, eles resolvem, mas eles têm muita dificuldade de tratar o item B de uma forma qualitativa.

Como exemplo de questão quantitativa, uma questão que é bem do cotidiano, embora pouco conceitual, e os estudantes terão fazer estimativas e utilizar duas fórmulas da cinemática.

- A. Fazendo uma estimativa para o tempo de reação do motorista e para o valor da aceleração na freada, avalie a distância que um carro percorre até parar se sua velocidade no início é de 40 km/h.
- B. Para 80 km/h, a distância necessária para parar o carro é
- i) o dobro.
 - ii) o quádruplo
 - iii) mais que o dobro e menos que o quádruplo?

Fonte: Questão retirada do curso de Física Conceitual, em elaboração.

Os estudantes têm que avaliar essa distância como a soma da distância D_r percorrida durante o tempo de reflexo – $D_r = v_0 t_r$ – e da distância D_f com os freios acionados – $D_f = v_0^2 / 2a$. Os valores desse tempo de reflexo t_r e do módulo dessa desaceleração a , eles têm que estimar. No item B, a princípio, não é necessário fazer a conta já que a primeira distância dobra, mas a segunda quadruplica, assim a alternativa correta é a terceira.

O maior problema nessa questão é que os estudantes não estão acostumados a fazer estimativas – os livros-texto usuais fornecem os dados em seus problemas –, então tem grande dificuldade com essa tarefa. Além disso, a maioria não tem o espírito crítico de observar se o resultado obtido é um número razoável, então às vezes surgem respostas com a distância de 40 m! No item B, a maioria dos grupos repete as contas feitas no item anterior para sinalizar a alternativa, o que é desnecessário.

Nesta seção, apresentei três exemplos de questões e sinalizei as dificuldades que os alunos têm em respondê-las. Ao longo das duas disciplinas são vistos os 36 capítulos do livro do Hewitt (2002) e eles fazem em sala 45 questionários com 9 questões na média, ou seja, umas 400 questões. Os alunos têm dúvidas em, aproximadamente, 10% dessas – algumas questões porque têm um grau de dificuldade maior, mas outras porque surgem falhas conceituais como as relatadas acima.

Proposta de Estudo

Essas falhas conceituais são constantes, ou seja, perduram de um semestre para o outro, não são um caso isolado de uma turma específica, e também são frequentes, isto é, aparecem nas respostas de um número expressivo de grupos de alunos. Além dos três exemplos apresentados na seção anterior – com os temas de forças de atrito e Leis de Newton, conservação do momentum e da energia, e de estimativas em cinemática –, outros quatro exemplos foram apresentados no artigo recentemente publicado (MOREIRA, 2020): hidrodinâmica e equação da continuidade, inércia rotacional e conservação da energia, torque e momento angular, e estimativas de velocidades e Algarismos significativos.

Isso levanta a pergunta de por que estudantes já na parte final do curso de Física – Licenciatura ou Bacharelado – têm essas falhas em suas formações. Essa é a proposta de estudo que pretendo realizar nessas duas disciplinas nos três próximos semestres (2020/2 a 2021/2).

A metodologia das disciplinas utilizada atualmente não permite que se obtenha dados quantitativos para se responder a essa pergunta porque os questionários são respondidos em grupo – é habitual ver um aluno alterar sua resposta com a discussão no grupo. Esse fato ocorre nas duas vias: o aluno está equivocado e, após a discussão, concorda com a resposta correta do grupo; ou, com

menos frequência, ocorre o contrário, o aluno apresenta sua solução e, depois de conversar com os colegas, acaba concordando com uma resposta diferente, que não está correta.

Para obter dados por aluno, pretendo introduzir um teste individual com questões objetivas no início de cada unidade – serão quatro testes em cada disciplina. As questões desses testes, sempre que possível, serão retiradas de trabalhos como o “Inventário do Conceito de Força” (Hestenes et al., 1992). Esses testes abordarão as falhas conceituais que podem ser consideradas constantes e frequentes pelas anotações que fiz nos últimos anos quando corrijo os questionários e seleciono as questões que serão apresentadas nas aulas de dúvidas.

Além disso, no processo de correção dos relatórios dos grupos, passarei a realizar uma quantificação das respostas com esses déficits conceituais – até agora, só anotava as questões em que os alunos tinham tido dificuldades, sem me preocupar com o número de grupos que tinham respondido erroneamente.

Com a aplicação dos testes e com a quantificação das respostas incorretas, terei dados que me possibilitarão detalhar melhor as deficiências apontadas. Esses dados também possibilitarão averiguar a efetividade da proposta de disciplinas de Física Conceitual – como cada aluno faz duas provas abertas individuais em cada disciplina, seu desempenho nestas provas pode ser comparado com o resultado dos testes.

Depois de apuradas as dificuldades conceituais mais relevantes, irei verificar na estrutura curricular do curso de Física em que disciplinas esses conceitos devem ser abordados; examinar nos livros-texto adotados ou no material didático utilizado nessas disciplinas se esses conceitos são desenvolvidos e como o são; e conversar com os professores das disciplinas envolvidas para indagar como normalmente é realizada a apresentação desses conceitos.

O resultado desse estudo poderá apontar possíveis falhas na estrutura curricular do curso de Física, ou problemas localizados em disciplinas específicas ou, ainda, mostrar que há algum tema relevante na Física do cotidiano que não está sendo abordado normalmente nas disciplinas e/ou nos livros-texto de Física básica.

Conclusão

Neste trabalho, apresentei a proposta de duas disciplinas de Física Conceitual ofertadas, desde 2006, para os estudantes do curso de Física em que leciono. Essas disciplinas têm como objetivo rever e aprofundar os principais conceitos básicos de Física que podem ser apresentados no Ensino Médio com uma abordagem em que uma linha de raciocínio conceitual, não formal, seja primordial. Nos 14 anos em que essas disciplinas têm sido ofertadas tem havido uma excelente receptividade por parte dos estudantes da Licenciatura e também do Bacharelado.

Defendo a importância dessa revisão dos conceitos ser realizada mais para o final do curso de Física, após os alunos terem cursado as disciplinas básicas. O enfoque das disciplinas propostas não é apresentar um dado conteúdo, isso o estudante deve ter visto anteriormente. O objetivo é como utilizar esse conhecimento para analisar situações físicas do cotidiano sem utilização de formalismo matemático e mostrar para os licenciandos a importância de um ensino de Física para o Ensino Médio mais conceitual, menos formal.

Ao longo desses 14 anos, ficou patente que os alunos têm dificuldades em algumas questões o que sinaliza falhas conceituais que já deviam ter sido superadas. Para entender melhor por que isso ocorre, apresentei uma proposta de estudo que tentará levantar os motivos dessas falhas e talvez sinalizar o que fazer para que os alunos possam superá-las. Essa proposta permitirá também avaliar se essas disciplinas estão ajudando os alunos a superar essas dificuldades conceituais.

Referências

- ARONS A. B. **Teaching Introductory Physics**. New York: John Wiley, 1997.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- HESTENES D., WELLS M. e SWACKHAMER G. Force Concept Inventory. **Physics Teacher**, vol. 30, n. 3, p. 141-151, 1992.
- HEWITT P.G. **Física Conceitual** 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- MAZUR E. **Peer Instruction**. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- MAZUR E. Ensinar é apenas ajudar a aprender, entrevista a C. FIOLEAIS e C. PESSOA. **Gazeta de Física**, vol. 26, n. 1, p.18, 2003.
- MCDERMOTT L. C. How we teach and how students learn – A mismatch? **American Journal of Physics**, vol. 61, n. 4, p. 295-298, 1993.
- MENDONÇA D.H., **A Resolução de Problemas Conceituais em Física: uma análise a partir da Teoria da Atividade**. Belo Horizonte: Tese de Doutorado, Faculdade de Educação, UFMG, 2019.
- MOREIRA, J. G. Ensinando Física Conceitual – Uma experiência em um Curso de Licenciatura em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, e20190258, 2020.