APRENDENDO PELA IDENTIFICAÇÃO DO ERRO

Lev Vertchenko
Tomás de Aquino Silveira

Resumo

É apresentada uma sugestão de metodologia complementar para o ensino da Física baseada na identificação de erro em resoluções incorretas de problemas.

1 - Introdução

Os cursos superiores das chamadas ciências exatas (engenharias, etc.) têm lidado cada vez mais com um perfil de aluno que dispõe de pouco tempo para estudo, por motivo de trabalho, e que usa este pouco tempo disponível para o estudo de forma ineficiente, principalmente procurando usar técnicas mnemônicas e deixando a real compreensão e desenvoltura de lado. Isto é sobretudo grave na aprendizagem de Física, onde pretende-se que o aluno assimile alguns relativamente poucos princípios básicos e através do raciocínio lógico tenha uma “capacidade flexível”, isto é, seja capaz de empregar estes princípios em qualquer situação dentro da área de aplicabilidade do mesmo. Freqüentemente os professores usam a expressão “os alunos têm que aprender a pensar”. Dado o enorme volume de informação com que hoje o profissional deve tratar e o tempo reduzido para isto, é improvável o sucesso de qualquer estratégia de ensino do tipo “tentativa e erro”, “aprendendo errando” ou “aprendendo do nada”. Todavia, *saber identificar o erro cometido é, sem dúvida, um passo importante em direção à desenvoltura*.

Este trabalho tem o intuito de divulgar junto aos professores de Física uma estratégia complementar de ensino baseada em “saber identificar o erro”.

Na próxima seção explicitamos esta estratégia. Na Seção 3 a exemplificamos e apresentamos uma discussão final na Seção 4.

2 – Sugestão de como usar o “saber identificar o erro”

Ao longo de uma experiência de mais de uma década no ensino da Física Geral em cursos superiores com a maior parte do corpo discente encaixando-se no perfil acima descrito, percebemos que os alunos cometem essencialmente o mesmo padrão de erros nas provas e nas tentativas de resolver os exercícios propostos. Propomos aqui que estes erros sejam apresentados aos alunos dentro de resoluções incorretas de problemas simples *para serem identificados* e, a partir daí, seja estimulado o tratamento correto do problema por um caminho consciente, de real compreensão, abandonando-se o mero uso de técnicas mnemônicas limitadas para a resolução de problemas.

Sugerimos que esta estratégia obedeça à seguinte seqüência:

1 – Proposta de um problema simples.

2 – Apresentação da resolução incorreta deste problema simples, decorrente de um erro padrão cometido pelos alunos.

3 – Propor, como exercício, a identificação justificada do erro.

4 – Solicitar a correção da resolução do item 1 acima, chegando à solução correta.

Notamos aqui que, embora não tenhamos conhecimento do emprego dessa estratégia de aprendizagem da forma como a propomos, ela se inspira parcialmente em uma interessante obra dos professores russos L. Tarasov e A. Tarasova , intitulada *Preguntas y problemas de Física*, em que os autores apresentam um professor dialogando com dois alunos, um dos quais comete vários erros ao tentar resolver problemas e interpretar fisicamente algumas situações, erros que são prontamente apontados e corrigidos pelo outro estudante e/ou pelo professor. Embora restrito à Física de segundo grau, sua leitura certamente pode ajudar o professor a implementar a estratégia aqui apresentada.

3 – Exemplificação

3.1 - Primeiro exemplo

1 – *Proposta de um problema simples.*

No curso de Física Geral I (introdução à Mecânica Clássica), após a apresentação do Teorema do Trabalho-Energia Cinética, pode ser proposto o seguinte problema elementar:

"Uma força resultante que está na direção x é dada por $F_R = 3x^2$ (F_R em newtons, x em metros) e atua sobre uma partícula de massa 2,0 *kg* que desloca-se nesta mesma direção. Supondo que em $x = 1{,}0\ m$ a velocidade da partícula é 3,0 *m/s*, qual a velocidade da partícula em $x = 2{,}0\ m$?"

2 - *Apresentação da resolução incorreta.*

Na formulação desta solução incorreta é usado um erro freqüentemente cometido pelos alunos nesta etapa inicial do curso, resultado do abuso de processos mnemônicos no 2º grau, que é a abordagem de um problema de aceleração dependente da posição através de equações da cinemática válidas apenas para o caso da aceleração constante.

"Sendo $F_R = 3x^2$, em $x = 2{,}0$ m temos $F_R = 12\ N$. Da 2ª Lei de Newton, a aceleração da partícula é $a = F_R / m = 6{,}0\ m/s^2$. Com isto e com o deslocamento $\Delta x = 1{,}0\ m$, podemos usar a conhecida expressão da cinemática, $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$, para obtermos $v = \sqrt{21} = 4{,}6\ m/s$ na posição final ($x = 2{,}0\ m$)."

3 – *Identificação justificada do erro.*

"Se a força resultante atuando sobre a partícula varia com a posição, pela 2ª Lei de Newton a sua aceleração também varia com a posição. Portanto, não podemos usar neste caso equações da cinemática válidas apenas quando a aceleração é constante. Além disso, qual é a lógica de se privilegiar a posição final ($x = 2{,}0\ m$) para se obter um único valor de aceleração ($a = 6{,}0\ m/s^2$) representativo para todo o deslocamento?"

4 – *Solução correta*.

"Uma das vantagens do Teorema do Trabalho-Energia Cinética é justamente a sua aplicabilidade em problemas de forças variáveis nos quais é fácil calcular o trabalho da força resultante. Assim, para o problema, calculamos o trabalho da força resultante, $W_R =$

$= \int_1^2 3x^2 dx = 7{,}0\ J$, e o igualamos à variação da energia cinética para obtermos $v = 4{,}0\ m/s$."

3.2 - Segundo exemplo

1 – *Proposta de um problema simples.*

No curso de Física Geral III (introdução ao Eletromagnetismo), após o estudo do conceito de potencial, são apresentados exemplos de cálculo dessa grandeza para várias distribuições de carga, inclusive contínuas. No caso de as distribuições contínuas de carga terem certas simetrias, o campo elétrico relacionado a elas pode ser calculado a partir da Lei de Gauss, e o potencial a elas associado pode ser determinado a partir da relação $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$, ou de sua forma integral $V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$. Nesse contexto, pode ser proposto um problema com um início de solução que esbarra numa dificuldade matemática. O aluno será convidado a corrigir o erro e evitar o entrave à solução. O problema é:

"Um cilindro oco, de raio a e altura infinita, tem espalhada homogeneamente em sua superfície uma carga elétrica cujo valor por unidade de comprimento, medido no sentido da altura, é λ. Determine o potencial nos pontos do espaço externos ao cilindro."

2 - *Apresentação da resolução incorreta.*

Neste caso, o erro que será apresentado baseia-se no emprego, pelo aluno, de uma hipótese vista no cálculo do potencial de uma carga puntiforme. Mais uma vez, o que se observa é a aplicação de processos já conhecidos sem uma análise crítica da sua adequação a uma situação nova.

"Tratando-se de uma distribuição de cargas com simetria cilíndrica, ou axial, pode-se aplicar prontamente a Lei de Gauss e, como isso já foi feito antes, sabemos que o campo elétrico será dado pela expressão $E = (1/2\pi\varepsilon_0)(\lambda/r)$, onde r é a distância do ponto ao eixo do cilindro, e r é maior que a (pontos exteriores). Sua direção será radial em relação ao eixo do cilindro, e o sentido será o que vai do eixo do cilindro para seu exterior. A seguir, empregamos a definição de diferença de potencial, $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$, e fazemos a integração dessa expressão desde um r maior que ou igual a a até um ponto b, onde colocaremos a nossa referência, e que situaremos a uma distância infinitamente grande do eixo; aí o potencial será nulo. Fazendo tal integração, chamando de $\hat{r}$ o vetor unitário na direção radial, e notando que $d\vec{l} = -dr\,\hat{r}$, (pois a integração se faz no sentido da diminuição de r), obtemos $\int_b^r dV = \int_b^r E dr = (\lambda/2\pi\varepsilon_0)\ln(r/b)$, ou seja, $V(r) - V(b) = (\lambda/2\pi\varepsilon_0)\ln(r/b)$. Fazendo b tender a infinito, r/b tenderá a zero, donde se conclui que $V(r)$ tenderá a menos infinito para qualquer r finito. Certamente há um problema aqui. "[1]

3 – *Identificação justificada do erro.*

"A hipótese de que o potencial é constante e igual a zero em qualquer ponto situado a uma distância infinitamente grande é válida para uma distribuição de cargas que ocupa uma região limitada do espaço. Como este não é o caso aqui, tal hipótese está fora de lugar."

4 – *Solução correta*.

"A solução está correta até o ponto em que se apresenta a definição de diferença de potencial, $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$. Tratando-se de uma distribuição de cargas que ocupa uma região do espaço que tem uma dimensão infinita, o correto é escolher como referência uma região em que r seja igual a uma constante não finita. Isso porque se o campo elétrico depende somente da distância ao eixo, o mesmo deverá ocorrer com o potencial. A escolha mais simples é $r = a$. Então a integração de $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$ de a até um r genérico maior que a dará $\int_a^r dV = -\int_a^r E dr = -(\lambda/2\pi\varepsilon_0)\ln(r/a)$, lembrando que agora o vetor $d\vec{l} = d\vec{r} = dr\,\hat{r}$, pois a integração está sendo feita no sentido do crescimento de r. Logo, $V(r) - V(a) = -(\lambda/2\pi\varepsilon_0)\ln(r/a)$, e adotando $V(a) = 0$, chegamos à resposta do problema: $V(r) = -(\lambda/2\pi\varepsilon_0 \ln(r/a)$. O valor do potencial para qualquer r finito está bem definido, e para r muito grande $V(r)$ tende a menos infinito, o que não traz qualquer problema conceitual."

Neste caso, o professor pode aproveitar a ocasião para discutir o conceito de infinito e sua aplicabilidade a situações práticas. Pode-se inferir, por exemplo, que o cálculo feito neste problema é perfeitamente aplicável para pontos muito próximos de um cilindro longo carregado; para um observador nesse ponto, o cilindro muito longo equivale a um cilindro de altura infinita.

[1] Neste ponto, é comum que os alunos concluam que, com b tendendo a infinito, o logaritmo neperiano de r/b tenderá a zero, o que é um evidente desconhecimento do comportamento da função logarítmica. O que estamos analisando aqui são erros no tratamento da Física, e por isso mostramos o caso em que o erro ocorre nesta parte, e não na Matemática.

4 – Discussão

Como podemos observar, a metodologia aqui proposta não se resume a formular as tradicionais simplórias questões de “verdadeiro ou falso”, pois envolve toda uma seqüência de passos para estimular uma resolução não passiva de problemas. Uma certa economia de processos é proporcionada ao aluno ao ser-lhe apresentado um caminho que freqüentemente é percorrido, juntamente com a advertência de este caminho conter erro. Para um aluno com reduzida disponibilidade de tempo para o estudo, esta economia é altamente desejada.

Para o emprego desta metodologia, deve ser elaborado material composto por uma quantidade razoável de problemas e respectivas resoluções incorretas, a partir de uma pesquisa envolvendo professores experientes na área abordada. O resultado dessa pesquisa deverá orientar a produção do material para que ele contenha os erros normalmente cometidos pelos alunos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TARASOV, L. & TARASOVA, A. *Preguntas y problemas de física*. Segunda edición. Moscou, Editorial Mir,1976.