



A queda dos corpos e o aristotelismo: Um estudo de caso do Vestibular

Os exames de Vestibular baseados em provas objetivas (com questões de múltipla-escolha), em princípio, constituem-se em excelente fonte para uma análise estatística significativamente precisa do grau de conhecimento dos estudantes que estão concluindo o ensino médio sobre um tema específico, dado o grande número de alunos que nele se inscrevem. Particularmente, chamou-nos a atenção o Vestibular da UERJ de 1999. Por um lado, a prova continha duas questões independentes sobre o tema “queda livre”, invariavelmente abordado em sala de aula como parte do tema “movimento” proposto pelo PCN. Por outro, porque se inscreveram no concurso cerca de 60 mil alunos e pudemos ter acesso às análises estatísticas referentes a estas questões.

O objetivo desta nota é apresentar e discutir os resultados dessas duas questões. A forma como o assunto “queda livre” foi abordado neste exame contrapõe, claramente, a visão de Galileu Galilei àquela de Aristóteles e seus seguidores. A dificuldade que uma parte significativa dos alunos manifesta em sala de aula de se libertarem do senso comum aristotélico vai se refletir, diretamente, na distribuição estatística das respostas, como será mostrado.

Não é nossa intenção aqui avaliar os resultados à luz de uma ou outra particular concepção pedagógica, nem tampouco procurar-lhes uma causa. Limitamo-nos a divulgar os dados reais de um

A prevalência do senso comum em fenômenos físicos presentes no cotidiano do aluno constitui, em princípio, um grande entrave para qualquer projeto de ensino de física moderna no âmbito do ensino médio

Vestibular muito concorrido, em uma grande capital do país, de forma a provocar uma reflexão crítica por parte de professores, pesquisadores e autores de livros didáticos. Em seguida, apresenta-se um

breve comentário sobre o problema da queda dos corpos, tomando por base três tirinhas produzidas por alunos da Oficina de Educação através de Histórias em Quadrinhos - EDUHQ [1].

Em nossa opinião, a prevalência do senso comum em um fenômeno físico tão presente no cotidiano do aluno - aqui demonstrado através de dois exemplos simples - constitui, em princípio, um grande entrave para qualquer projeto de ensino de física moderna no âmbito do ensino médio e, portanto, merece ser cuidadosamente analisado em um universo mais amplo. Em particular, mostra-se como é simples ensinar o princípio da relatividade de Galileu e o quanto a resposta da segunda questão analisada depende de sua compreensão.

As questões

As questões às quais nos referimos são as de números 17 e 18 da Prova Objetiva do Vestibular de 1999 da UERJ, reproduzidas na Fig. 1.

Dados estatísticos sobre os resultados

As distribuições percentuais de respostas dadas a essas duas questões estão reportadas na Tabela 1, bem como alguns dados estatísticos relevantes, tais como o

poder de atração efetivo de cada uma das quatro alternativas, o índice de dificuldade e o poder discriminante de cada uma das questões.

Antes de analisarmos os resultados, alguns comentários gerais sobre a Tabela 1 são necessários. Além do *poder de atração* de cada uma das quatro alternativas de cada questão, que é a percentagem de escolhas para cada alternativa de resposta, apresenta-se,

F. Caruso

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Instituto de Física Armando Dias
Tavares, Universidade do Estado do Rio
de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: francisco.caruso@gmail.com.

Analisam-se duas questões sobre o tema “queda livre dos corpos”, que integraram a prova objetiva de física do Vestibular de 1999 da UERJ feita por mais de 60 mil alunos. Verifica-se que a compreensão deste movimento de queda ainda é fortemente baseada no senso comum. A descrição aristotélica deste fenômeno físico ainda é compartilhada por um número surpreendentemente expressivo de alunos do ensino médio que prestaram o referido exame.

Questão 17

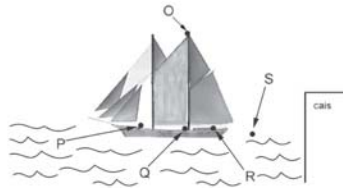
Foi veiculada na televisão uma propaganda de uma marca de biscoitos com a seguinte cena: um jovem casal estava num mirante sobre um rio e alguém deixava cair lá de cima um biscoito. Passados alguns segundos, o rapaz se atira do mesmo lugar de onde caiu o biscoito e consegue agarrá-lo no ar. Em ambos os casos, a queda é livre, as velocidades iniciais são nulas, a altura de queda é a mesma e a resistência do ar é nula.

Para Galileu Galilei, a situação física desse comercial seria interpretada como:

- (A) impossível, porque a altura da queda não era grande o suficiente
- (B) possível, porque o corpo mais pesado cai com maior velocidade
- (C) possível, porque o tempo de queda de cada corpo depende de sua forma
- (D) impossível, porque a aceleração da gravidade não depende da massa dos corpos

Questão 18

A figura abaixo representa uma escuna atracada ao cais.



Deixa-se cair uma bola de chumbo do alto do mastro - ponto O. Nesse caso, ela cairá ao pé do mastro - ponto Q. Se esta bola for abandonada do mesmo ponto O, quando a escuna estiver se afastando do cais com velocidade constante, ela cairá no seguinte ponto da figura:

- (A) P
- (B) Q
- (C) R
- (D) S

Figura 1 - As questões 17 e 18 do Vestibular da UERJ.

também, o *poder de atração efetivo*, que é o valor corrigido do poder de atração da alternativa correta, considerando-se (descontando-se) a probabilidade de respostas ao acaso. Sendo assim, pode-se, de forma mais rigorosa, pensar que a Questão 17 foi respondida de forma correta e consciente por 33% dos candidatos e a Questão 18, por apenas 16%. Uma forma mais branda de olhar para estes dados é considerar o percentual efetivo como o limite inferior do intervalo de acertos, ou seja, o percentual de alunos que acertaram, respectivamente, as Questões 17 e 18 sem *chute* está entre 33% e 50,48% para a primeira questão, e entre 16% e 37,25% para a segunda. Para facilitar a visualização e a comparação, as distribuições dos percentuais de respostas para as duas questões estão representadas graficamente na Fig. 2.

O índice de dificuldade (ID), apresentado na Tabela 1, foi considerado médio (M) quando os percentuais de acerto estiveram compreendidos entre 30,01% e

70,00%. Este foi o caso para ambas as questões. A sigla IPD - Índice de Poder Discriminante - refere-se ao índice de correlação bisserial de pontos entre os resultados do grupo que acertou a questão e do que errou. Seu valor crítico é 0,30 e a aceitação de uma questão ocorre quando o IPD calculado é maior do que o crítico, como se verifica para ambas as questões.

Portanto, do ponto de vista da dificuldade e do poder discriminante, as duas questões podem ser estatisticamente consideradas boas questões e, o que é importante, com um índice de dificuldade médio.

Comentários

Viu-se na seção anterior que, no que se refere à Questão 17, o índice de acerto sem *chute* deve estar entre 33% e 50,48%, o que significa aceitar que pelo menos metade dos alunos, ou seja, cerca de 30 mil alunos não souberam responder corretamente a esta questão. Nota-se, ainda que apenas cerca de 53% dos candidatos entenderam, independentemente da justificativa,

Distribuição percentual de respostas

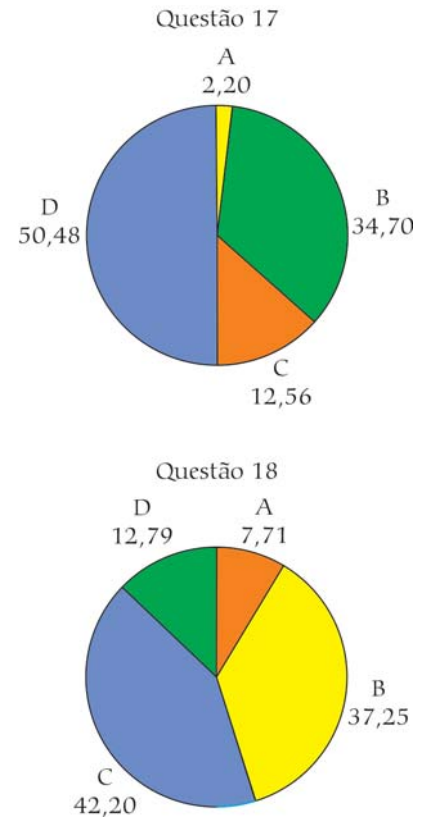


Figura 2 - Gráficos das distribuições percentuais de respostas das duas questões analisadas. Fonte: Departamento de Seleção Acadêmica da UERJ.

que a situação descrita é *impossível* (alternativas A e D).

Um modo simples de apresentar o princípio aqui envolvido pode ser apelar para a brincadeira que se faz com quase todas as crianças sobre o que pesa mais: um quilo de chumbo ou um quilo de algodão? - como mostra a tirinha reproduzida na Fig. 3.

Todo jovem se recente de um dia ter sido enganado por esta pergunta e sente uma certa vergonha deste fato. Assim, fazer uma analogia entre a resposta errada a esta pergunta e uma possível resposta equivocada à indagação de o que chega primeiro ao solo (se lançados de uma mesma altura), uma bolinha de chumbo ou uma de algodão, não só facilitará o aprendizado como também sua fixação.

Já a Questão 18 apresentou um índice

Tabela 1 - Dados estatísticos relevantes sobre as duas questões. Fonte: Departamento de Seleção Acadêmica da UERJ.

Questão	Poder de atração das alternativas	Poder discriminante			ID					
		Média acertos	Média erros	IPD						
Número	Gabarito	A	B	C	D	Efetivo				
17	D	2,20	34,70	12,56	50,48	33,00	M	8,51	5,95	0,45
18	B	7,71	37,25	42,20	12,79	16,00	M	8,50	6,50	0,34



Figura 3 - Tirinha sobre a queda dos corpos segundo Galileu



Figura 4 - Tirinha sobre a situação-problema da Questão 18.

médio de acertos ainda menor. Seu índice de erro (expurgando a probabilidade de resposta ao acaso) pode estar entre cerca de 63% e 84%, dos quais cerca de 55% foram atraídos pela resposta aristotélica, ou seja, a bola cairia atrás do barco. A situação-problema da referida questão é abordada na Fig. 4.

A idéia de que a física deve ser a mesma para observadores que se deslocam uns em relação aos outros, em movimento de translação uniforme, foi defendida por Galileu em seu *Diálogo*. A argumentação começa com as seguintes palavras de Salviati, um dos três personagens do livro:

Feche-se com um amigo em uma grande sala sob a ponte de um navio e arranje moscas a voar, borboletas e outros pequenos animais; tenha também um grande vaso com água contendo peixes; suspenda um balde cuja água cai gota a gota por um orifício no chão. Com o navio parado, observe cuidadosamente os pequenos animais a voar, os peixes a nadar com a mesma velocidade para todos os lados, as gotas caindo no vaso pousado no chão; e você mesmo lance ao seu amigo um objeto e verifique que o pode fazer com a mesma facilidade em uma e em outra direção, quando as distâncias são iguais e que, saltando a pés juntos, você atravessa espaços iguais em todos os sentidos. Quando tiver observado com cuidado todas essas coisas (embora não se duvide que tudo se passe assim com o navio parado) faça avançar o navio tão velozmente quanto queira, desde que o movimento seja

uniforme sem oscilações para um lado e para o outro. Você não descobrirá nenhuma mudança em todos os efeitos precedentes e nenhum deles medirá se o navio está em marcha ou está parado (...), e a razão pela qual todos esses efeitos permanecem iguais é que o movimento é comum ao navio e a tudo que ele contém, incluindo o ar.

Esse princípio de absoluta equivalência entre dois referenciais que se movem relativamente em translação uniforme, isto é, entre *referenciais inerciais*, concebido em uma época de primazia da mecânica, é a base do princípio da relatividade de Galileu, o qual implica o abandono de qualquer possibilidade de movimento absoluto [2]. Pode-se ainda enunciá-lo da seguinte forma:



Figura 5 - Uma possível leitura do princípio da Relatividade de Galileu.

Se as leis da mecânica são válidas em um dado referencial, então são igualmente válidas em qualquer outro referencial que se mova em translação uniforme em relação ao primeiro.

O conteúdo desse princípio é que todo sistema de referência inercial deve ser equivalente para a descrição do movimento; ele pode ainda ser enunciado como sugere a tirinha da Fig. 5.

De volta à situação-problema de onde a bola lançada do topo do mastro vai cair, o aluno que compreendeu o significado do princípio da Relatividade de Galileu, é capaz de dar a resposta correta de forma direta: o resultado físico não se altera quando passamos do repouso ao movimento retilíneo uniforme (equivalência dos referenciais inerciais). Ou seja, se quando o barco (o laboratório) está parado a bola cai ao pé do mastro, na situação análoga, na qual a única diferença é que o laboratório se desloca em movimento retilíneo uniforme em relação à situação anterior, o resultado físico *deve ser o mesmo* e, portanto, a bola *cai no pé do mastro*, exatamente como no caso anterior.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao Departamento de Seleção Acadêmica da UERJ – em particular às professoras Elizabeth Murad e Stella Maris – por ter gentilmente permitido que tivéssemos acesso aos dados estatísticos aqui utilizados.

Referências

- [1] www.cbpf.br/eduhq, acessado em 14/4/2008.
- [2] Veja, por exemplo, F. Caruso & V. Oguri, *Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos* (Elsevier, Rio de Janeiro, 2006).