
FORÇA NO MOVIMENTO DE PROJÉTEIS

Luiz O. Q. Peduzzi
Sônia S. Peduzzi
Departamento de Física – UFSC
Florianópolis – SC

Introdução

As concepções espontâneas em Física têm sido objeto de inúmeros estudos. Zylbersztajn⁽¹⁾ e McDermott⁽²⁾ relatam exemplos destas na área da Mecânica, relativas aos conceitos de gravidade, ação e reação, velocidade e aceleração e força e movimento, extraídos de diversas pesquisas recentemente realizadas.

As relações entre força e movimento constituem um dos temas em que maior número de erros conceituais tem sido detectados em estudantes de qualquer nível.

Axt⁽³⁾, analisando as respostas dadas por candidatos em concursos vestibulares na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) a questões objetivas envolvendo o formalismo da 1ª e 2ª Leis de Newton, concluiu que um expressivo número de estudantes apresenta dificuldades de compreensão dessas leis.

Peduzzi e Peduzzi⁽⁴⁾, num estudo anterior, verificaram que alunos dos cursos de Química e Matemática, em um curso introdutório de Física, responderam a um teste de múltipla escolha envolvendo o movimento de projéteis também de forma intuitiva. Para o movimento vertical, a maioria deles associou à subida do projétil uma força vertical para cima maior do que o peso; no ponto mais alto essa força era igual ao peso. Já na descida foram identificadas outras forças (para cima e para baixo), além da força peso. Nos arremessos horizontal e oblíquo, as forças associadas com o movimento do projétil eram, além da força peso, respectivamente, horizontal e tangente à trajetória. As opções de resposta, principalmente no lançamento oblíquo, foram, no entanto, restritas e se poderia em princípio

pensar que os estudantes se viram obrigados a escolher uma dentre as alternativas propostas, mesmo que com ela não concordassem plenamente.

Com o propósito de investigar, sob o ponto de vista intuitivo dos estudantes, como a(s) força(s) atuante(s) em um projétil varia(m) ao longo de toda a sua trajetória elaborou-se um novo teste. Neste, procurou-se oferecer mais alternativas de resposta a cada questão e estruturá-lo de maneira que, através das respostas dadas pelos alunos, se pudesse ter uma idéia se as forças apontadas por eles aumentam, diminuem ou permanecem constantes durante o movimento do projétil.

Trinta e um alunos (a maioria dos cursos de Química e Matemática) matriculados na disciplina Física A, oferecida pelo Departamento de Física da UFSC, responderam ao teste, cuja estrutura será descrita a seguir.

Estrutura do teste

O teste elaborado* para este estudo envolve seis questões sobre o lançamento vertical, oblíquo e horizontal de um projétil, no qual a resistência do ar é suposta desprezível. São abordadas situações como a de uma bola atirada verticalmente para cima (questões 1 e 2), uma bola chutada por um jogador de futebol (questões 3, 4 e 5) e uma pedra lançada horizontalmente da janela de um edifício (questão 6).

Em cada pergunta, solicita-se que seja marcada a opção que representa corretamente a(s) força(s) que age(m) sobre o projétil em movimento. Em todas as questões, além das alternativas propostas, há um quadro dentro do qual o estudante pode construir a sua própria resposta, em caso de não concordância com nenhuma delas. Com isso, elimina-se o fato de fazer com que a pessoa que responde ao teste tenha de assinalar, obrigatoriamente, uma das alternativas dadas.

Na questão 1, apresenta-se vários diagramas de forças para quatro pontos do percurso de subida da bola, desde o momento em que ela deixa a mão de quem a lançou até atingir o ponto mais alto. Esses diagra-

* Parte do teste encontra-se no final deste artigo.

mas indicam possíveis variações da(s) força(s) sobre a bola ao longo da trajetória entre os pontos considerados.

De acordo com a opção escolhida como resposta a essa questão, o teste instrui o aluno para dirigir-se à página que contém a descida da bola (questão 2). Se, por exemplo, a opção escolhida for a (a), a página seguinte do teste o envia para a página 4. Na descida da bola novamente aparecem diagramas de forças para quatro pontos; o primeiro corresponde ao ponto mais alto da trajetória.

Na questão 3 (lançamento oblíquo), solicita-se ao estudante que escolha a opção que melhor representa a(s) força(s) que age(m) sobre a bola em um ponto da sua trajetória, na subida, ou que construa a sua própria solução. Para um melhor entendimento dessa resposta, o teste o dirige a uma nova página, de acordo com a opção por ele escolhida para a questão 3. Nessa página, o aluno encontra, em três pontos da trajetória, várias opções de variação ou não da(s) força(s) assinalada(s) por ele. Ao escolher uma delas, ele indica se a(s) força(s) que ele representou na questão 3 aumenta(m), diminui(em) ou permanece(m) constante(s). Se, por exemplo, a opção escolhida foi a (d), ele deve se dirigir à página 15 do teste (que se encontra também ao final deste artigo).

A questão 4 corresponde ao ponto mais alto da trajetória da bola; as questões 5 e 6 foram construídas de forma análoga à 3.

As respostas dos alunos: comentário e discussão

As frequências de respostas dos estudantes a algumas das perguntas do teste podem ser encontradas ao final deste artigo.

As respostas dadas à questão 1 mostraram que todos os alunos consideraram agir sobre o projétil em movimento uma força para cima que ia diminuindo a medida que o projétil se aproximava do ponto mais alto da trajetória. Destes, seis não colocaram, explicitamente, a força peso sobre a bola.

A existência de uma força para cima na subida de um projétil é comentada em diversos trabalhos. Clement⁽⁵⁾, ao propor que alunos de Engenharia representassem o diagrama de forças para uma moeda atirada verticalmente para cima, num ponto da sua subida, obteve que 88% dos

estudantes deram respostas incorretas, sendo que 90% dos que erraram indicaram existir uma força apontando para cima no ponto em questão. Uma resposta bastante típica encontrada por Clement foi: enquanto a moeda está subindo "a força da sua mão" F_h empurra para cima a moeda. Na subida, ela deve ser maior do que F_g (força peso), caso contrário a moeda estaria se movendo para baixo.

Um resultado semelhante ao de Clement foi obtido por Sebastia⁽⁶⁾ num teste de múltipla escolha com formato explicativo, aplicado a alunos espanhóis de diversos níveis de estudo.

A descida da bola também apresentou dificuldades para os alunos. Outras forças, além do peso, foram identificadas. Por exemplo, entre os dezesseis alunos que escolheram a alternativa (a) da questão 1, alguns sugeriram a existência de uma força para cima diminuindo à medida que a bola descia e outros indicaram uma outra força para baixo (além da força peso) que aumentava enquanto o projétil caía, ao responderem a questão 2.

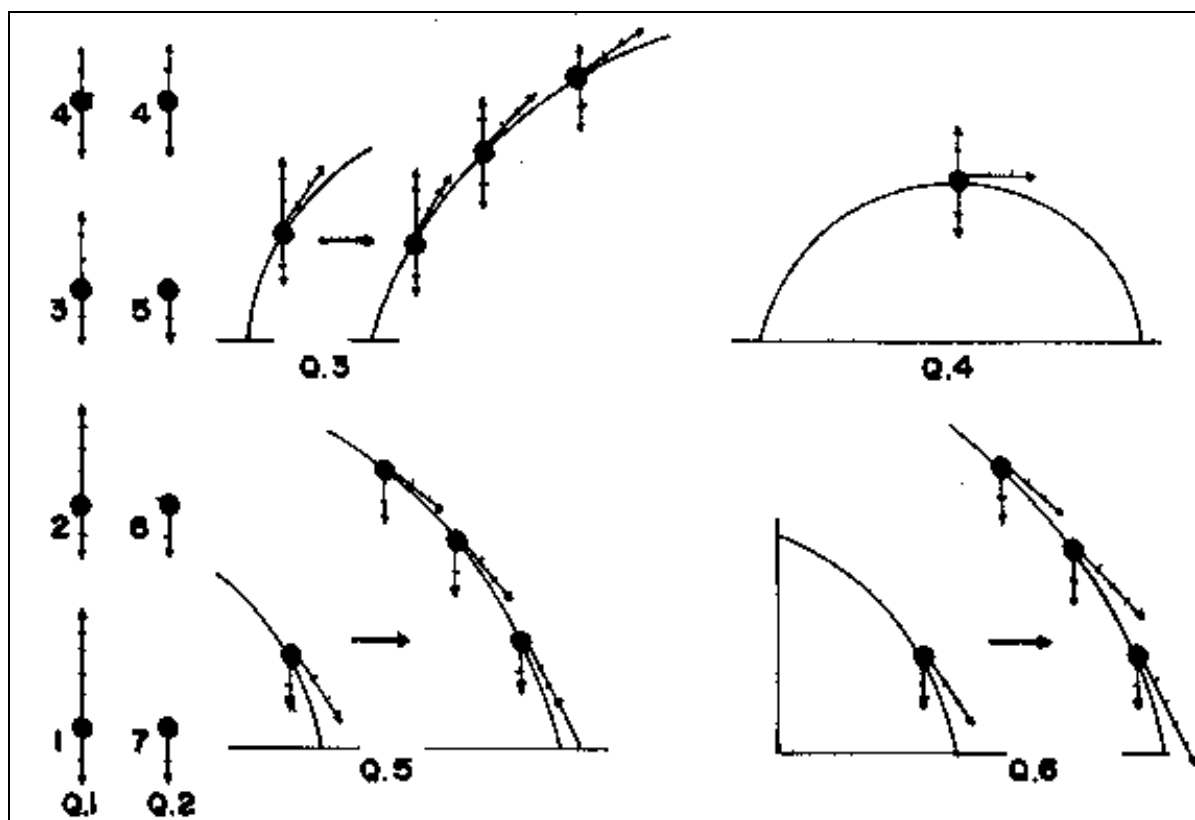


Fig. 1- Respostas ao teste de um aluno do grupo 1. Q.1 significa a questão 1 do teste, Q.2 a questão 2 e assim sucessivamente.

A inclusão de vários pontos na subida e na descida do projétil garante uma interpretação mais segura às respostas dadas pelos estudantes. Na questão 2, por exemplo, se tivesse sido colocado no teste apenas um ponto na descida da bola e se este fosse o ponto 6, poder-se-ia concluir erradamente que nove alunos estariam identificando o peso como a única força agindo sobre a bola na sua descida. Da mesma forma, as respostas (a) e (c) como (b) e (a), da questão 2, seriam idênticas duas a duas, se o único ponto da trajetória fosse o de número 7, um pouco antes de a bola retornar às mãos do lançador.

Através da análise das respostas individuais de cada estudante, para os lançamentos oblíquo e horizontal, pôde-se constatar alguns pontos comuns que possibilitaram separá-los em certos grupos.

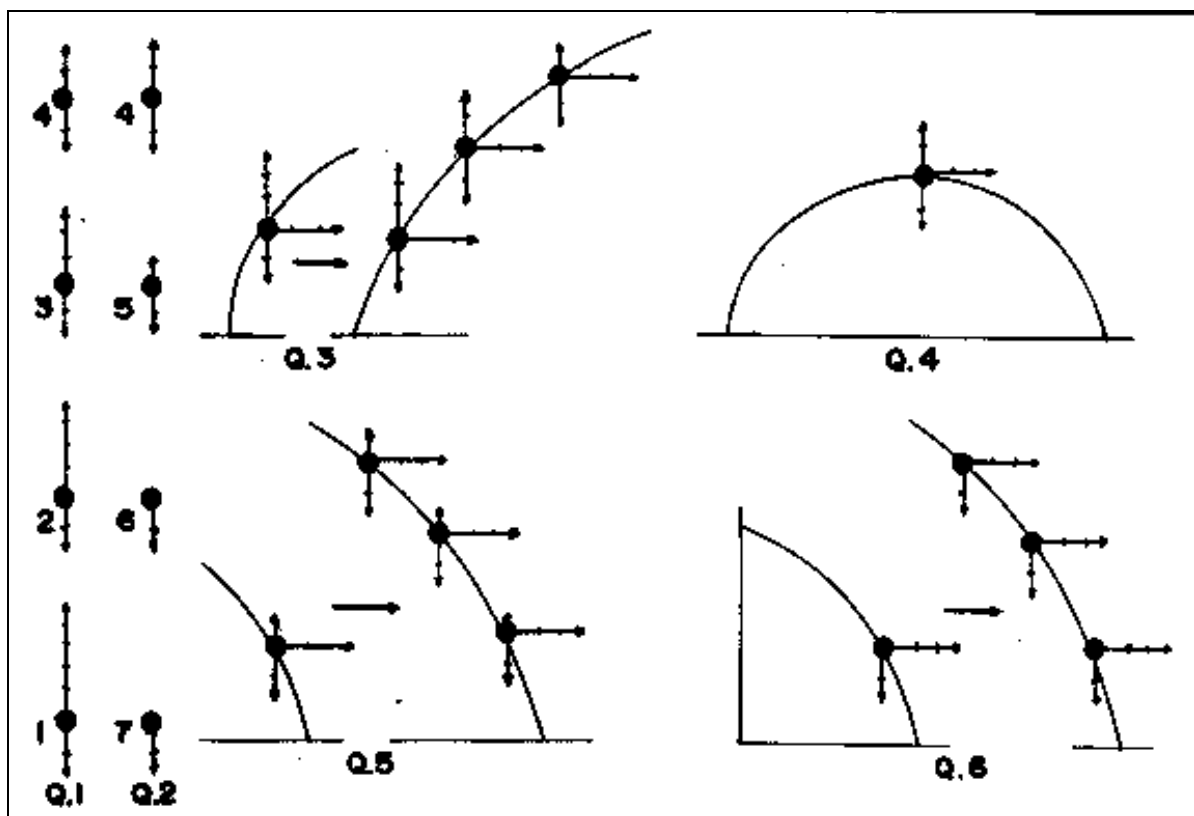


Fig. 2- Respostas ao teste de um integrante do segundo grupo.

O primeiro grupo se caracterizou pelo fato de os estudantes colocarem uma força tangente à trajetória do projétil, tanto no lançamento oblíquo (subida e descida), quanto no horizontal. A força tangencial apresentou-se constante para alguns e variável para outros (geralmente crescente na descida do projétil). A maioria dos componentes desse grupo acrescentou também, para o arremesso oblíquo, uma força vertical para cima, que diminuía ao longo da subida do projétil. Na descida, essa força permanecia ainda existindo para alguns estudantes no lançamento oblíquo, mas não exceto para um, no horizontal. Na Fig. 1 são apresentadas as respostas ao teste de um dos alunos do grupo 1.

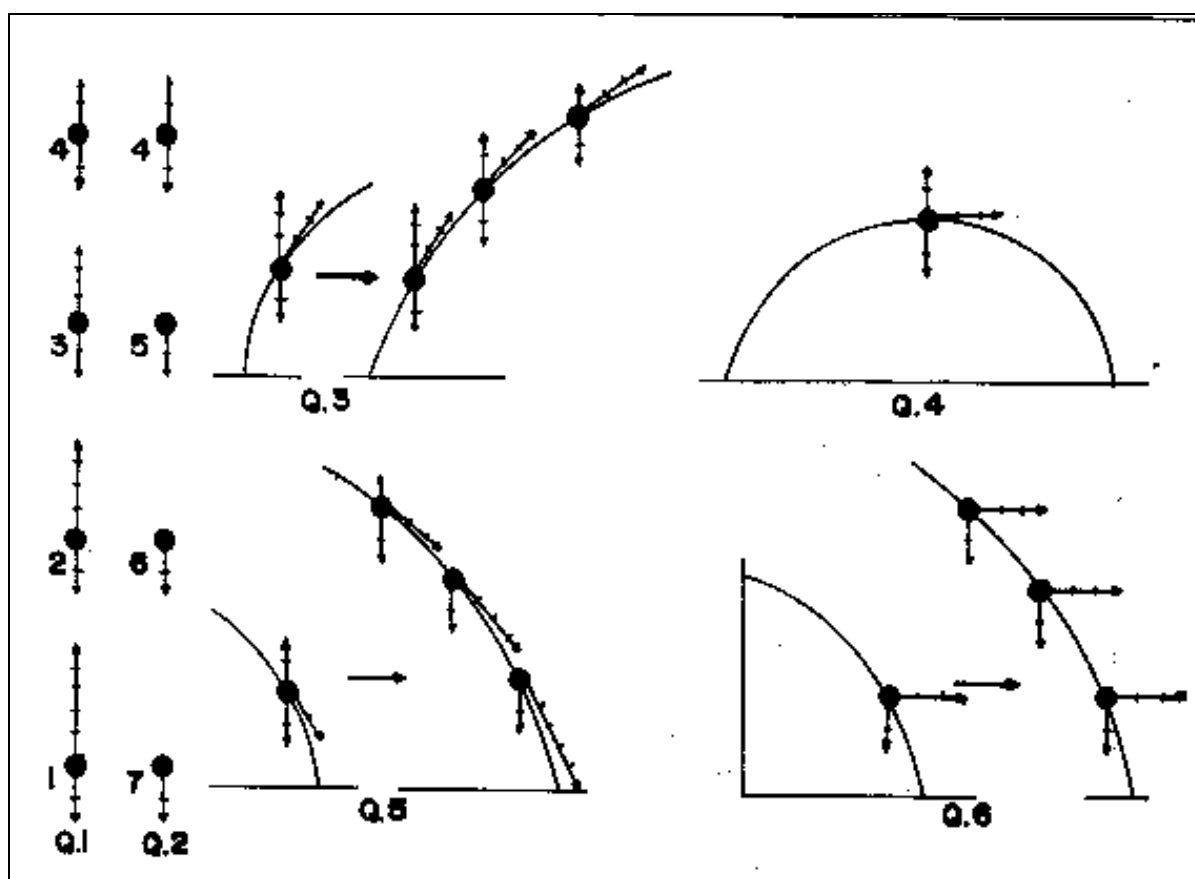


Fig. 3- Respostas ao teste de um componente do grupo 3.

Os elementos do grupo 2 identificaram uma força horizontal agindo sobre o projétil em movimento, tanto no lançamento oblíquo (subida e descida) quanto no horizontal, e uma força vertical para cima,

decrecente, durante a subida do projétil (também existente para alguns na descida do lançamento oblíquo). A força horizontal apresentou comportamento variado. Considerando a subida, a descida para o arremesso oblíquo e a descida para o lançamento horizontal, puderam ser encontradas duas combinações mais freqüentes de respostas: as três forças constantes ou a força na subida constante e as outras duas decrescentes. Na Fig. 2, encontram-se as respostas ao teste de um dos integrantes do segundo grupo.

O terceiro grupo foi constituído por alunos que associaram ao movimento do projétil lançado horizontalmente uma força horizontal (variável ou não) e que, para o lançamento oblíquo, consideraram agir forças já identificadas nos dois grupos anteriores. Um exemplo das respostas dos componentes daquele grupo encontra-se na Fig. 3.

Todos os participantes dos três grupos identificaram corretamente que a força peso estava presente no movimento.

Oito estudantes não foram enquadrados em nenhum dos grupos porque não colocaram o peso em algumas das situações levadas em conta ou consideraram essa força variável. Além disso, quatro alunos apresentaram respostas que não puderam ser classificadas em nenhum grupo.

Apesar de o teste apresentar muitas alternativas como solução, dez alunos optaram por construir a(s) sua(s) própria(s) resposta(s).

Conclusões

A seguir apresentam-se algumas conclusões, após a análise das respostas dos alunos ao teste.

Na subida de um projétil lançado verticalmente, os estudantes associam uma força para cima que decresce à medida que o projétil sobe. Para muitos, quando esta se iguala ao peso, o corpo inverte o sentido do seu movimento. Na descida, outras forças são relacionadas ao movimento: uma força para cima (decrecente) e uma para baixo (crescente), além da força peso.

Considerando as respostas do grupo total de alunos às questões referentes aos arremessos oblíquo e horizontal, verifica-se que existem opções que concentram o interesse dos estudantes, revelando uma espécie de pensamento comum entre eles.

No entanto, analisando-se as suas respostas individuais, numa tentativa de relacionar as forças por eles apontadas nos lançamentos oblíquo e horizontal, percebe-se a diversidade de pensamento de cada um. Mesmo dentro dos grupos constituídos, em face de características comuns entre eles, são encontradas diferenças sobre como os estudantes acreditam estarem variando as forças por eles apontadas.

Muitos alunos dão o mesmo tipo de resposta tanto no arremesso oblíquo quanto no horizontal quando, por exemplo, apontam a existência de uma força tangente à trajetória do projétil tanto para pontos na subida (lançamento oblíquo) como para os na descida (lançamentos oblíquo e horizontal). Outros, no entanto, identificam forças diferentes sobre o projétil em movimento, como, por exemplo, uma força tangente à trajetória se o corpo é atirado obliquamente e uma força horizontal se o mesmo é lançado horizontalmente.

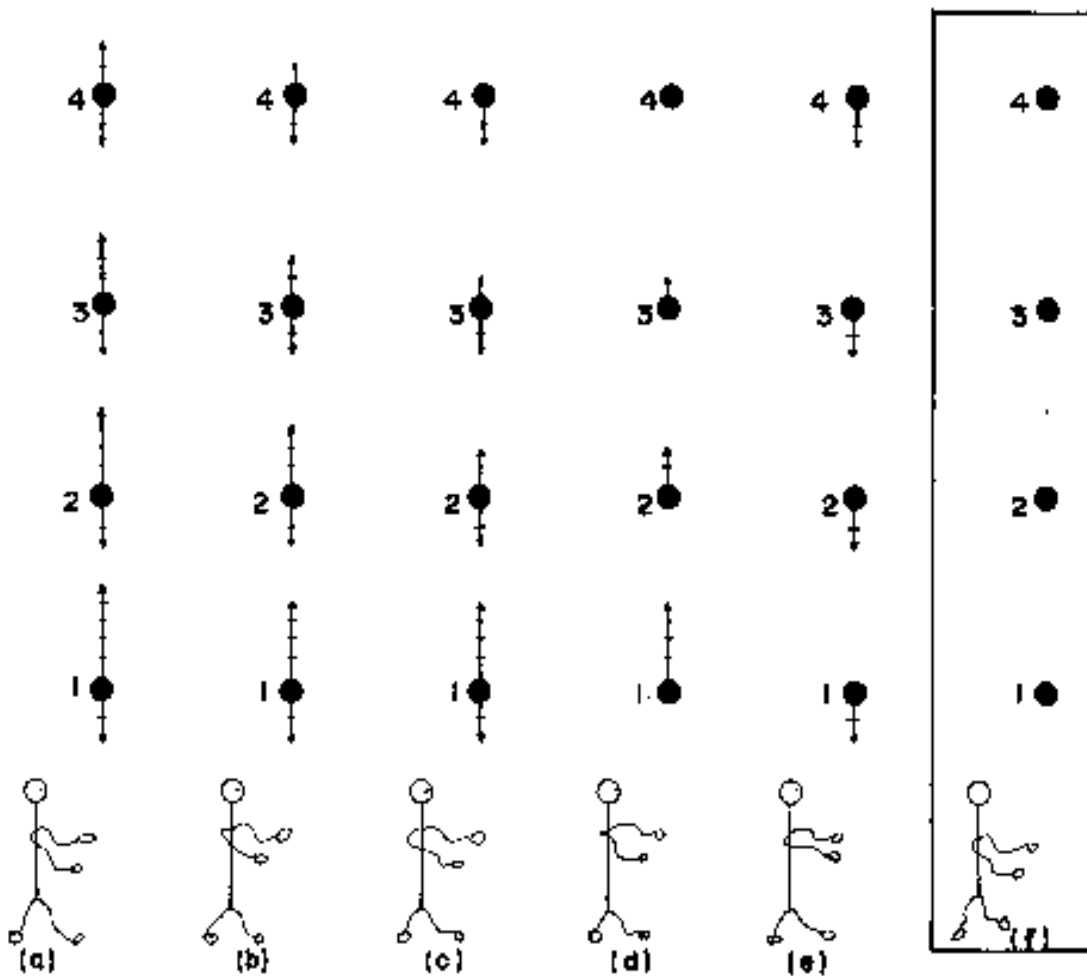
Frente aos esquemas intuitivos apresentados nas respostas dos estudantes ao teste aplicado, constata-se que o movimento de projéteis, em termos de força, não é compreendido por eles. Como os esquemas conceituais intuitivos oferecem muita resistência à mudança, o assunto deve merecer mais atenção, em sala de aula, por parte do docente. Assim, conhecendo de antemão a maneira de pensar dos aprendizes, é possível estabelecer um ponto de partida de onde o professor deve começar a ensinar.

Referências bibliográficas

1. ZYLBERSZTJN, A. Concepções espontâneas em física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. Rev. Ens. Fis., 5(2): 3-16, 1983.
2. McDERMOTT, L.C. Research on conceptual understanding in mechanics. Phys. Today, 37(7): 24-32, 1984.
3. AXT, R. Conceitos intuitivos em questões objetivas aplicadas no concurso vestibular unificado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho submetido à publicação na revista Ciência e Cultura.
4. PEDUZZI, L.O.Q. & PEDUZZI, S.S. O conceito intuitivo de força no movimento e as duas primeiras leis de Newton. Cad. Cat. Ens. Fis., 2(1): 6-15, 1985.

5. CLEMENT, J. Student's preconceptions in introductory mechanics. Am. J. Phys., 50(1): 66-71, 1982.
6. SEBASTIA, J.M. Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. Enseñanza de las Ciencias., 2(3): 161-9, 1984.

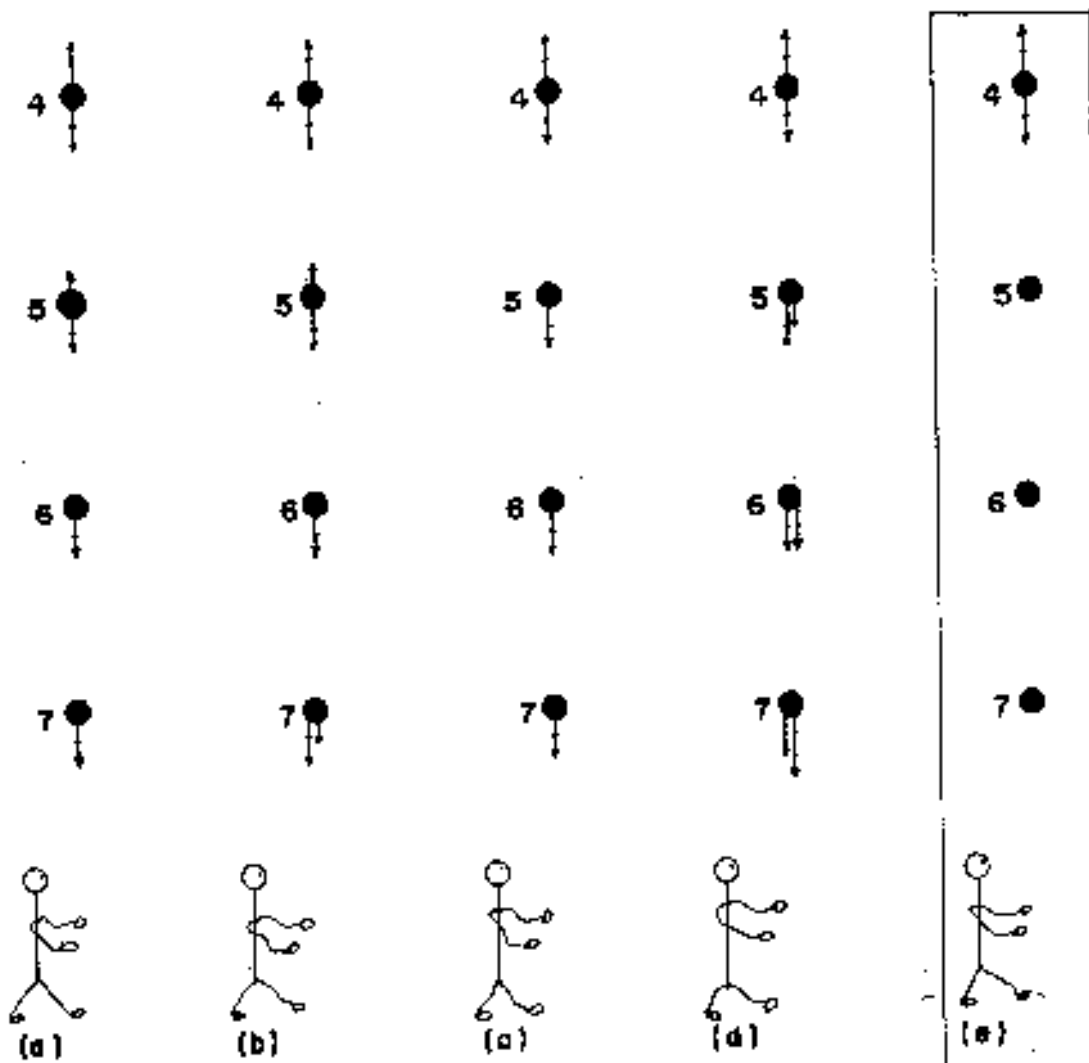
Questão 1*: Uma bola é atirada verticalmente para cima. Supondo a resistência do ar desprezível, assinale o diagrama que indica corretamente a(s) força(s) que age(m) sobre a bola nas posições apresentadas. Em todos os diagramas, o ponto 1 mostra a posição da bola após ter deixado a mão do lançador, os pontos 2 e 3 são pontos intermediários na subida e o ponto 4, o mais alto atingido pela bola. Caso você não concorde com nenhum dos diagramas mostrados, represente a(s) força(s) que age(m) na bola nas posições 1, 2, 3 e 4, na coluna da direita.



* Página 2 do teste.

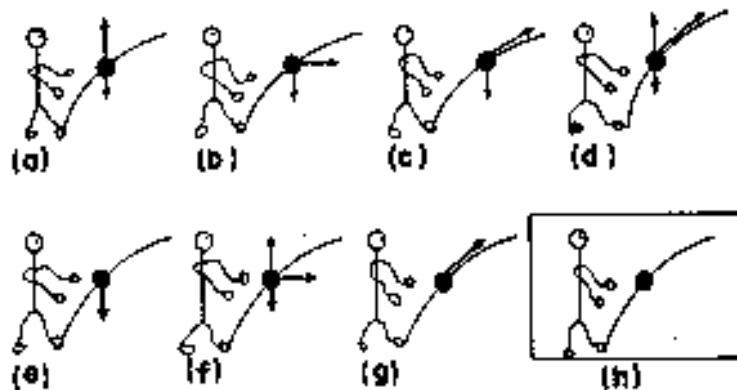
Questão 2*: Considere, agora, a descida da bola, desde o ponto mais alto da trajetória (ponto 4) até um pouco antes de ela chegar novamente à mão do lançador (ponto 7). Os pontos 5 e 6 representam pontos intermediários na descida da bola. Desconsiderando a resistência do ar, assinale o diagrama que indica corretamente a(s) força(s) que age(m) sobre a bola nas posições apresentadas. Caso você não concorde com nenhum dos diagramas, desenhe a(s) força(s) que age(m) sobre a bola nas posições 4, 5, 6 e 7, na coluna da direita.

Após responder essa questão vá para a página 10.



* Página 4 do teste

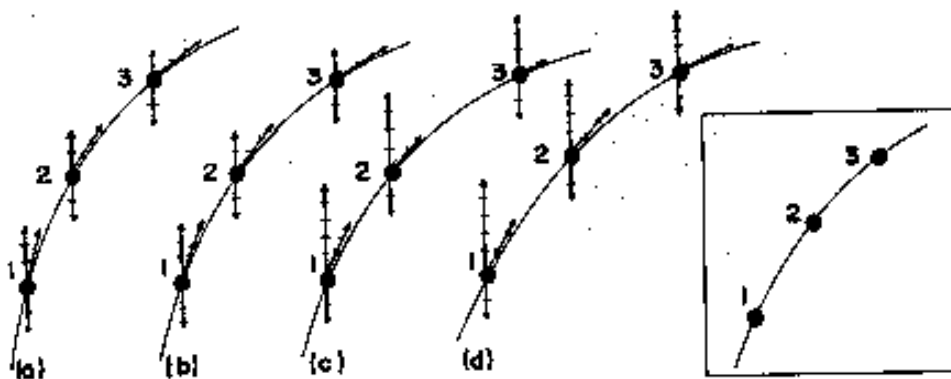
Questão 3*: Um jogador de futebol chuta uma bola parada sobre a grama em direção ao campo adversário. Desprezando a resistência do ar, assinale qual das opções abaixo apresenta corretamente as forças que agem sobre a bola. Caso você não concorde com nenhum dos diagramas mostrados, represente a(s) força(s) que age(m) sobre a bola no quadro que aparece na opção (h).



Opções relativas ao item (d) da questão 3**:

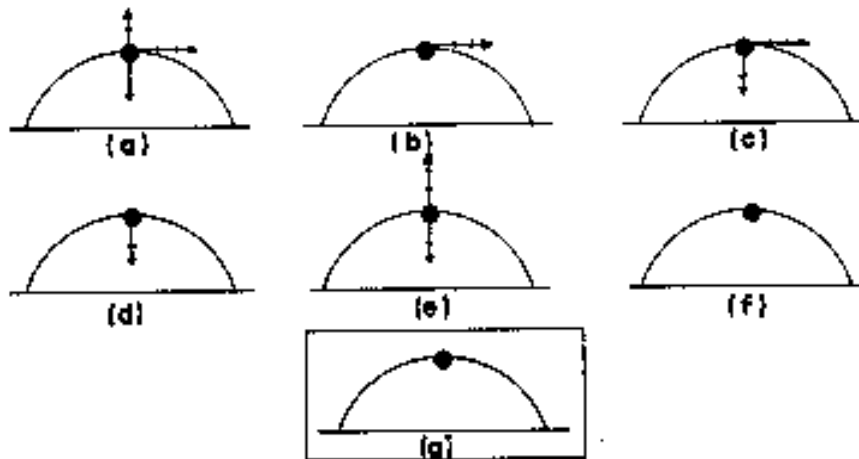
Continue a considerar o movimento da bola chutada pelo jogador de futebol mencionado na questão 2. Desprezando a resistência do ar, assinale qual o diagrama que indica corretamente a(s) força(s) que age(m) sobre a bola nas posições 1, 2 e 3 da sua trajetória. Caso você não concorde com nenhum dos diagramas mostrados, represente a(s) força(s) que age(m) na bola nas posições 1, 2 e 3 no quadro que aparece na última opção.

Após responder essa questão vá para a página 20.

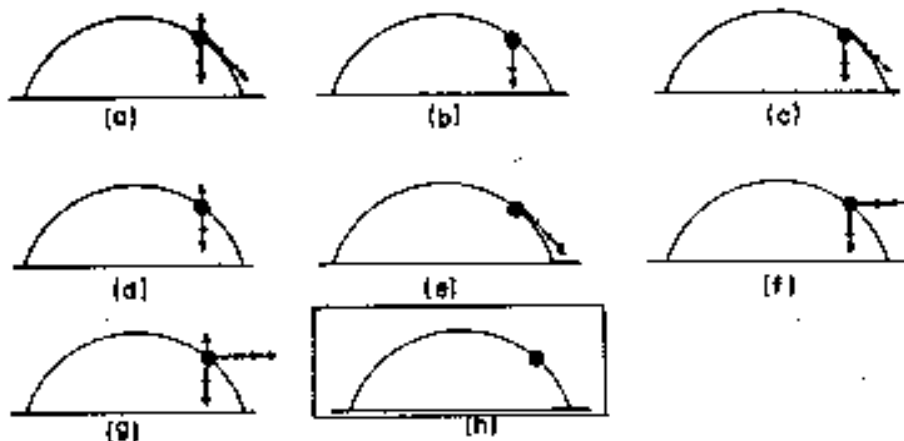


* Página 10 do teste

Questão 4*: Assinale qual a opção que representa corretamente a(s) força(s) que age(m) sobre a bola arremessada pelo jogador de futebol quando esta passa pelo ponto mais alto da sua trajetória. Despreze a resistência do ar. Caso você não concorde com nenhum dos diagramas mostrados, represente a(s) força(s) que age(m) na bola no quadro que aparece na última opção.



Questão 5**: Assinale, agora, qual das opções abaixo apresenta corretamente a(s) força(s) que age(m) sobre a bola, chutada pelo jogador de futebol, na descida. Despreze a resistência do ar. Caso você não concorde com nenhum dos diagramas mostrados, represente a(s) força(s) que age(m) sobre a bola no quadro que aparece na última opção.

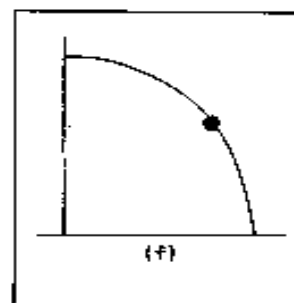
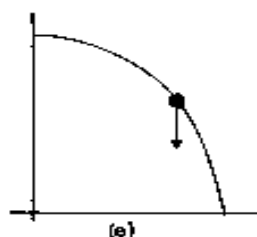
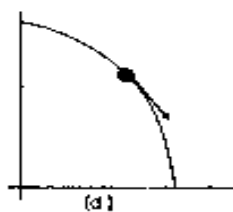
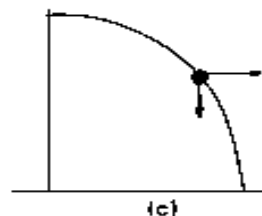
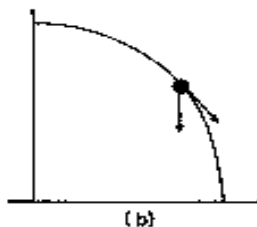
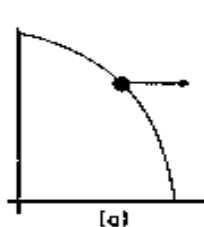


** Página 15 do teste

* Página 20 do teste

** Página 21 do teste

Questão 6*: Uma pedra é lançada horizontalmente da janela de um edifício. Desprezando a resistência do ar, indique a figura que mostra corretamente a(s) força(s) que age(m) sobre a pedra. Caso você não concorde com nenhum dos diagramas apresentados, represente a(s) força(s) que age(m) sobre a pedra no quadro que aparece na opção (f).



* Página 31 do teste