

IDENTIFICAÇÃO DE CONCEPÇÕES ERRÔNEAS EM MECÂNICA ATRAVÉS DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS BASEADAS EM VÍDEO (AEBV)

Paulo Simeão Carvalho¹

Instituto de Física dos Materiais da Universidade do
Porto – Portugal
psimeao@fc.up.pt

Marcelo Dumas Hahn²

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto -
Portugal
dumash@gmail.com

¹ Graduado e doutorado em Física pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal. É atualmente Professor Auxiliar no Departamento de Física e Astronomia, da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), Portugal, investigador do IFIMUP (Instituto de Física dos Materiais da Universidade do Porto) e membro da UEC (Unidade de Ensino das Ciências). Os seus interesses de pesquisa são a produção de materiais curriculares multimédia e recursos digitais, ensino da Física e formação de professores (inicial e continuada) em Física.

² Formou-se em Física e Mestre em Física pela Universidade Federal Fluminense, Brasil. Atualmente é Mestre em Ensino da Física e da Química pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal, e estudante de doutoramento do Programa Doutoral em Ensino e Divulgação das Ciências, FCUP, Portugal. É membro investigador do IFIMUP, Portugal. Os seus interesses de pesquisa estão na promoção de mudança conceptual nos alunos através de métodos ativos, operacionalizados na análise de vídeo e na construção de experimentos com Arduino.

RESUMO

As concepções errôneas são estruturas mentais enraizadas e muito resistentes à mudança conceitual e, nesse sentido, constituem um importante entrave à aprendizagem dos alunos. Este trabalho mostra o uso de uma ferramenta didática baseada em vídeos de atividades experimentais, para a identificação de algumas concepções errôneas na área da Mecânica. Os vídeos foram explorados numa perspectiva P-O-E e representam uma proposta eficiente para reconhecer e corrigir concepções errôneas dos alunos, que pode ser usada na prática letiva do professor de Física para obter um *feedback* da aprendizagem daqueles.

Palavras-chave: Concepções errôneas. Abordagem P-O-E. Análise de vídeo. Atividade Experimental baseada em vídeo.

ABSTRACT

Misconceptions are rooted and very resistant mental structures configured as an important obstacle to student learning. This work presents a didactic tool based on videos of experimental activities, for the identification of some misconceptions in the field of Mechanics. The videos were explored in a P-O-E perspective and represent an efficient proposal for recognizing and correcting students' misconceptions that can be used in the physics teacher's practice to obtain feedback from the students' learning.

Keywords: Misconceptions. P-O-E Approach. Video Analysis. Video-Based Experimental Activity.

INTRODUÇÃO

O conhecimento científico é caracterizado pelo conjunto de fatos, observações, conceitos, princípios, leis, modelos e teorias, que permitem explicar de forma crítica e racional os fenômenos naturais. Ele operacionaliza-se individualmente através da construção de modelos mentais, que na sua essência básica são representações internas construídas pelas pessoas para captar o mundo que as rodeia (JOHNSON-LAIRD, 1983). As concepções errôneas são uma importante manifestação da coexistência de modelos mentais alternativos nos alunos e constituem um obstáculo à aprendizagem. O seu reconhecimento é, por isso, uma prioridade do professor.

Na segunda metade do século XX, vários pesquisadores desenvolveram seus trabalhos na identificação de concepções prévias em ciências, em particular na Física, com alunos pré-universitários. Algumas das principais conclusões destas pesquisas foram compiladas por Driver, Guesne e Tiberghian (1985) e constituem uma informação incontornável para todos os professores quando preparam a sua prática letiva.

A origem das concepções prévias nos alunos é muito diversificada. Por um lado, a observação dos fenômenos naturais fomenta tentativas de interpretação e explicação, muitas vezes, filosóficas e pouco coerentes, prática que remonta à Grécia antiga do século V a.C. e à Escola Socrática (SERZEDELLO, 2012; CARVALHO, 2015). Além disso, o uso regular de uma linguagem do senso-comum com pouco rigor científico e de palavras que reportam a conceitos científicos (por exemplo, as palavras “massa” e “peso” na frase “pese-me um 1 kg de maçãs”, ou “força” e “velocidade” na frase “um carro com muita velocidade vai com muita força”), levam frequentemente à convivência de dois modelos mentais nos alunos – um para a sala de aula, outro para fora dela. Estes se alternam consoante os contextos de aprendizagem (MAZUR, 1997), constituindo, assim, explicações alternativas, mas igualmente válidas para os alunos.

O problema do sucesso escolar não está na existência das concepções prévias e errôneas (também ditas *alternativas*, pelas razões apontadas) dos alunos, porque estas vão sempre existir, mas no fato de elas se encontrarem fortemente enraizadas no seu raciocínio e, portanto, constituírem um forte entrave à aprendizagem. Há, pois, necessidade de encontrar formas de contorná-las e resolver o conflito conceptual está associado a elas.

Efetivamente, são atualmente conhecidos vários métodos e estratégias de ensino que visam promover a mudança conceptual (MOREIRA; MASSONI, 2016). Em particular, o envolvimento ativo dos alunos nas aulas de Física (HAKE, 1998; BASSOLI, 2014), é apontado como uma via eficaz de combate às ideias errôneas dos alunos. Essa tarefa tem sido auxiliada pela emergência de soluções

informáticas, tais como computadores e sensores que entram nos laboratórios como auxiliares das atividades experimentais (THORNTON, 1987; THORNTON; SOKOLOFF, 1990; REDISH; SAUL; STEINBERG, 1997), bem como as simulações que se têm vindo a transformar numa poderosa ferramenta educativa. (NOVAK et al, 1999; CHRISTIAN; BELLONI, 2001; 2004; WIEMAN, 2002). Enquanto isso, o vídeo aparece popularizado na sociedade, inicialmente como apoio à visualização de fenômenos ou acontecimentos, mas agora também como ferramenta de gravação e análise de experimentos, cada vez mais acessível economicamente a todos os estratos da sociedade. A tendência para uma prática letiva apoiada em Recursos Educativos Digitais (REDs) como lousas interativas, *tablets*/computadores/celulares ou análise de vídeo, é tão incontornável que negá-lo é retroceder no tempo. (CARVALHO; CHRISTIAN; BELLONI, 2013).

É, assim, neste contexto escolar de alunos nativos digitais e de uma escola que tenta desesperadamente acompanhar as mudanças rápidas da sociedade, que os professores olham para a fraca motivação e poucos conhecimentos de seus alunos no final do ensino pré-universitário e tentam perceber o que aconteceu de errado na aprendizagem daqueles. Importa, então, identificar o melhor possível as ideias errôneas que subsistem no final do Ensino Médio, como foi possível elas se manterem após tantos anos de instrução escolar e que estratégias podem ser implementadas para corrigir e inverter esta situação.

METODOLOGIA

O trabalho que aqui apresentamos é uma proposta didática, não exaustiva, que intenta mostrar como os professores podem conhecer algumas das dificuldades dos seus alunos na área da mecânica e assim intervir de forma mais eficaz na sua aprendizagem. Esta proposta é simultaneamente: 1. uma abordagem prática por atividades experimentais baseadas em vídeo (AEBV) cujo objetivo é identificar as concepções errôneas (e alternativas) que subsistem nos alunos, e 2. uma proposta de ensino ativa que coloca o aluno no centro da aprendizagem e promove a reformulação conceptual de forma crítica e significativa. A forma usada para a identificação de concepções errôneas dos estudantes, foi através de uma abordagem P-O-E (WHITE; GUNSTONE, 1992) porque esta é, simultaneamente, identificadora de ideias prévias e promotora de mudança conceptual de forma crítica.

Os vídeos foram analisados através do software *Tracker*, uma ferramenta grátis (<https://physlets.org/tracker/>) de análise de vídeo e modelagem de fenômenos tipicamente utilizado no ensino e aprendizagem da Física (BROWN, 2008; BROWN; COX, 2009), em áreas como a mecânica (RODRIGUES; CARVALHO, 2017), a ótica (RODRIGUES; CARVALHO, 2014; RODRIGUES; MARQUES; CAR-

VALHO, 2016), a astronomia (BELLONI; CHRISTIAN, 2013), ou ainda, no estudo das ondas sonoras (CARVALHO et al, 2013). Como ferramenta pedagógica, o *Tracker* permite explorar diversos conteúdos de maneira prática, possibilitando uma aprendizagem ativa. A utilização do *Tracker* permite que os alunos observem um fenômeno quantas vezes desejarem e analisem cada detalhe capturado pela câmara filmadora, facilitando a confrontação dos modelos mentais que possuem com as evidências experimentais observadas e os dados coletados a partir da análise do vídeo. Esta prática viabiliza a reconstrução e melhoria de modelos mentais prévios, conectando conceitos abstratos a exemplos do dia a dia e, conseqüentemente, fomentando uma aprendizagem mais consolidada. (WEE et al, 2012).

Para registo das atitudes e respostas dos alunos nesta pesquisa, bem como de observações dos pesquisadores sobre melhorias a introduzir no trabalho, recorreu-se ao registo do observador através do diário de bordo ou diário de aula (PAIVA; MORAIS; MOREIRA, 2015), uma ferramenta de observação mais livre, flexível e menos estruturada que a grade de observação.

ESTUDO EXPERIMENTAL

A pesquisa foi realizada com uma turma de seis alunos do 12º ano de Física do Ensino Secundário de Portugal (equivalente ao Terceiro ano do Ensino Médio, no Brasil). O reduzido número de participantes possibilitou um envolvimento privilegiado dos alunos entre si e com o professor, facilitando uma abordagem mais individualizada e um conhecimento aprofundado das dificuldades daqueles. O uso de uma abordagem P-O-E permitiu identificar ideias errôneas dos alunos relativamente aos conteúdos abordados em cada AEBV e, posteriormente, analisar a sua interpretação após a observação e discussão do vídeo em ambiente colaborativo. No Apêndice A são apresentadas propostas de roteiros de exploração das AEBV descritas neste trabalho.

Os vídeos foram apresentados e discutidos com os alunos na forma sequencial abaixo indicada.

VÍDEO 1: QUEDA DE GRAVES

O vídeo¹ mostra duas bolas de dimensão e massa diferentes a serem soltas a partir do repouso, de uma determinada altura (Figura 1). As bolas foram lançadas em instantes muito próximos, mas não exatamente o mesmo e, portanto, não chegam ao solo exatamente ao mesmo tempo. Não é dada qualquer escala de comprimento de referência no vídeo. São visíveis as marcações das posições das bolas durante a queda na figura 1.

¹ O vídeo pode ser acessado em <<https://youtu.be/6mOc2VF9Bho>>.

Figura 1 - Queda de graves



Fonte: Elaborado pelos autores.

Questões discutidas

- A resistência do ar e a sua importância na queda das bolas.
- Caracterizar a trajetória dos graves.
- Descrever o gráfico da posição dos graves em função do tempo.

Concepções errôneas detectadas

O questionamento dos estudantes durante a fase de Previsão e de Explicação da abordagem P-O-E permitiu identificar várias concepções errôneas sobre o movimento de queda, algumas prévias e outras que se mantiveram devido à convivência de modelos mentais interpretativos, nomeadamente:

- A resistência do ar não teve um papel significativo na queda das bolas. Esta ideia é fruto da transferência de um exercício típico de um manual escolar, para a prática vivenciada em sala de aula. Um dos estudantes escreveu: “Por definição, um grave é um corpo que apenas está sujeito à força da gravidade. Assim, durante a análise da queda de um grave a resistência do ar é desprezável”. Para ele, o nome da atividade “Queda dos graves” é o fator determinante para justificar a interpretação que faz do movimento do corpo, como se um nome dado a um objeto pudesse impor o fenômeno ao qual ele está associado. Assim, a resposta deste aluno teve por base um fator de linguagem, ao invés de refletir a observação científica. Outro aluno interpretou que a resistência do ar é, efetivamente, desprezável porque assim o desejamos fazer: “Neste caso, considera-se resistência do ar

desprezável de modo a simplificar o estudo do movimento e também se verifica que os valores experimentais não foram muito diferentes.” Ou seja, os resultados experimentais serviram para confirmação da simplificação efetuada e não como o ponto de partida para a interpretação do fenômeno, exatamente ao contrário do que seria esperado.

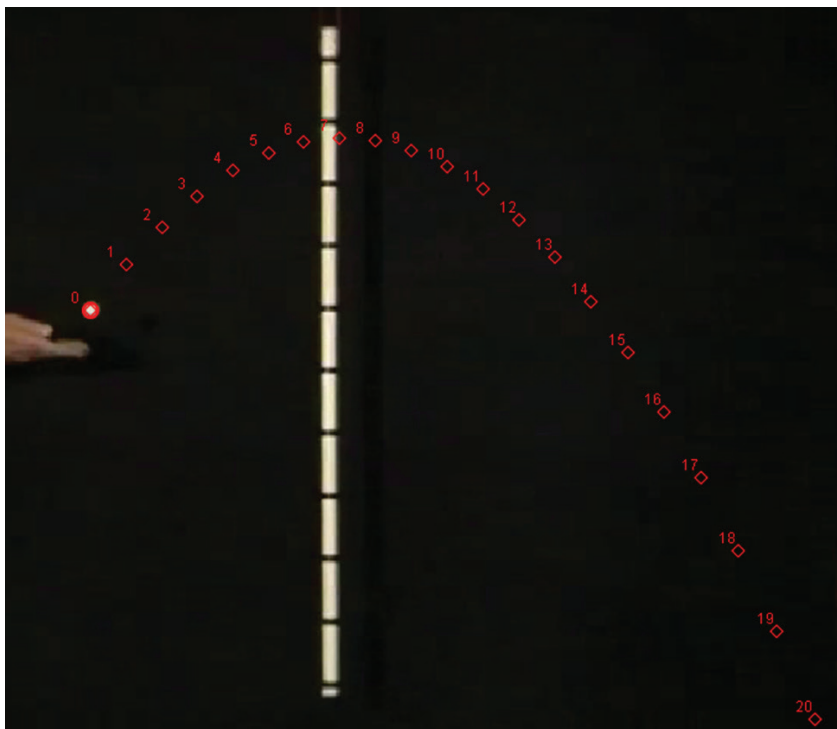
- A trajetória de cada bola é retilínea uniformemente acelerada. Esta é uma confusão entre trajetória e caracterização do movimento, muito habitual entre estudantes. A confusão advém de não ser hábito explicar aos alunos que, neste exemplo em particular, os gráficos $y(t)$ e $v_y(t)$ permitem caracterizar o movimento e o gráfico $y(x)$ é aquele que identifica a trajetória. O problema tende a aumentar nos movimentos a duas dimensões, pelo que o recurso a representações gráficas deve constituir uma prioridade no ensino e aprendizagem da cinemática.

A ausência de uma imagem de dimensão conhecida para referência de calibração no vídeo constituiu um desafio para os estudantes. Embora reconhecessem que um dos objetos é uma bola de futebol e que esta tem dimensões padronizadas, o fato de esse dado não ter sido fornecido no enunciado da atividade inibiu a iniciativa dos estudantes, pois consideraram que se esse dado não foi apresentado é porque não era necessário; o problema só foi ultrapassado quando lhes foi sugerido que usassem a internet para buscar esse valor. Esta dificuldade manifestada pelos estudantes em procurar dados não fornecidos é reflexo da prática corrente dos exercícios das aulas e nos manuais, em que todos os valores das grandezas estão explícitos e em número necessário e suficiente. Uma forma de tentar ultrapassar esta limitação é promover uma atitude diferente dos alunos perante os problemas: por exemplo, o professor deverá fornecer dados em número superior aos necessários, para que eles tenham de refletir e entender os que são realmente necessários; ou colocar os dados implícitos ou até mesmo usar grandezas conhecidas cujos valores estão omissos no enunciado, para fomentar a procura e o espírito crítico.

VÍDEO 2: LANÇAMENTO DE UM PROJÉTIL

O vídeo² exibe a mão de uma pessoa lançando, obliquamente, uma bola. É visível uma régua para ser utilizada como escala de calibração (Figura 2). Na figura 2, são visíveis as marcações das posições da bola durante o movimento. A régua vertical serve de calibração do vídeo.

Figura 2 - Lançamento oblíquo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Questões discutidas

- Após o lançamento, quais as forças que atuaram no projétil?
- Caracterizar o movimento do projétil no eixo x e no eixo y .
- Identificar a trajetória do projétil.

Concepções errôneas detectadas

Este vídeo tem como objetivo reconhecer as dificuldades dos alunos relativamente às forças que atuam num corpo lançado obliquamente e na interpretação de gráficos.

- A força com que a mão lança a bola atua durante o movimento. Os professores experientes sabem que esta é uma concepção encontrada com frequência. A afirmação “uma das forças que atua sobre o projétil é a força

² O vídeo pode ser acessado em <<https://youtu.be/v4Rsy1iGJ-O>>.

exercida pela mão”, característica da concepção aristotélica relacionada à teoria do ímpeto (Porto & Porto, 2009), na qual a força que a mão exerce sobre a bola no lançamento continua a ser exercida sobre aquela, mesmo após a bola perder o contato com a mão, é uma interpretação naturalista do movimento. A frase mostra que o aluno possui dois modelos físicos explicativos: o científico (que o professor dá nas aulas de Física, que aplica nos exercícios e no qual apenas a força gravitacional atua sobre o projétil) e o do senso comum (que serve para explicar um fenômeno contraintuitivo em que um corpo só se pode mover se existir uma força nele aplicada, representada pela força da mão - ou ímpeto - mesmo que esta seja invisível, porque também o é a força gravitacional).

- Confusão entre trajetória e tipo de movimento. Embora neste caso seja visível aos estudantes, a trajetória curvilínea (parabólica) do projétil e que, embora não tão visível, esta se deve a uma combinação linear dos movimentos (tratados como independentes) segundo os eixos X (horizontal) e Y (vertical), não deixa de ser curiosa a afirmação de um dos alunos: “no eixo X o movimento é retilíneo uniforme, no eixo Y é uniformemente variado”. Realmente, o lançamento oblíquo pode ser descrito pelo princípio da sobreposição dos movimentos: um movimento retilíneo uniformemente variado na vertical e um movimento retilíneo uniforme na horizontal. Contudo, pela maneira como o aluno expôs a resposta, ele considerou que somente o da horizontal seria retilíneo, evidenciando assim uma possível confusão entre trajetória e tipo de movimento.

Um dos grandes erros que os alunos do secundário costumam ter é considerar que o gráfico $y(t)$ de um lançamento oblíquo descreve a trajetória do objeto lançado. Questionar “Qual é o gráfico que nos permite conhecer a trajetória de um corpo?”, é uma maneira de forçar a comparação de $y(t)$ com $y(x)$ e explicar o que cada um desses gráficos representa.

Após a identificação do movimento segundo cada um dos eixos, tal deverá ser relacionado com a existência de acelerações e conseqüentemente a resultante das forças segundo X e Y. Assim, a representação, num desenho, da(s) força(s) que atua(m) no projétil em várias posições do seu movimento (no início após deixar a mão, no ponto de altura máxima e finalmente, em qualquer instante do movimento descendente), permitirá clarificar que não existe qualquer força aplicada segundo X e que apenas a força gravitacional atua na direção Y.

Um complemento desta atividade poderá ser feito num contexto lúdico para aumentar a motivação dos alunos na interpretação do movimento de um projétil, como é referido por Rodrigues e Carvalho (2013).

VÍDEO 3: QUAL CHEGA PRIMEIRO AO SOLO?

No vídeo³ podem-se observar duas bolas. A bola 1 rola livremente sobre uma mesa enquanto a bola 2 está presa por um eletroímã. Quando a bola 1 chega ao fim da mesa, ela passa por um sensor ligado ao eletroímã e, então, as duas bolas começam a queda simultaneamente: a bola 1 com uma certa velocidade inicial na horizontal e a bola 2 totalmente a partir do repouso. Não existe qualquer escala marcada no vídeo (Figura 3), e são visíveis as marcações das posições da bola 1 (a amarela) e da bola 2 (a branca) durante o movimento. Não existe qualquer régua de calibração do vídeo.

Figura 3 - Lançamento oblíquo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Questões discutidas

- Caracterizar os movimentos das bolas.
- Identificar qual das bolas atinge primeiro o solo.

Concepções errôneas detectadas

Este vídeo foi pensado na sequência do vídeo 2 e tem como objetivo averiguar se os estudantes reconhecem que o tempo de voo de um projétil está apenas associado à componente do movimento segundo a vertical. Também teve o propósito de confrontar os estudantes com movimentos em simultâneo, um unidirecional e outro bidimensional e concluir se a caracterização dos respectivos movimentos era influenciada por este contexto.

³ O vídeo pode ser acessado em <<https://youtu.be/DHFwQcm3nQc>>.

- Os gráficos $y_1(t)$ e $y_2(t)$ descrevem movimentos diferentes. Os alunos têm consciência que as duas bolas vão descrever trajetórias diferentes, mas sentem muita dificuldade em visualizar os movimentos na vertical e na horizontal separadamente. Um aluno descreveu relativamente aos gráficos $y_1(t)$ e $y_2(t)$, “Ambos são uma reta, porém $y_2(t)$ terá menor declive”, o que está errado tanto na forma, como no conteúdo. Outros caracterizaram o movimento na vertical da bola 1 como uniformemente acelerado após deixar a mesa, enquanto o da bola 2 é sempre uniformemente acelerado, mas não como iguais. Apenas após a análise dos movimentos através do *Tracker* e depois de calcularem a aceleração de queda de ambas as bolas (note-se que mesmo na ausência de régua de calibração, os parâmetros de ajuste para os dois movimentos são idênticos), ficou claro que segundo a vertical o movimento das bolas é idêntico e, portanto, os gráficos $y_1(t)$ e $y_2(t)$ são equivalentes.
- A bola 2 chega primeiro ao solo. Para os alunos, há no movimento das bolas deste vídeo um conflito: por um lado a bola 1 sai com maior velocidade, mas por outro vai percorrer uma distância maior. A forma como se conjugam estes dois aspectos revela-se de difícil conciliação. Metade dos alunos que participaram no estudo respondeu que a bola 2 chega primeiro ao solo, o que indicia que o fator distância percorrida é mais determinante para o tempo que a bola leva a chegar ao solo. Este resultado evidencia que ainda não está devidamente consolidada a ligação direta entre o tempo de voo e o movimento dos objetos apenas segundo o eixo y .

A análise deste vídeo mostra que mesmo quando os alunos possuem uma ideia mais clara sobre os fenômenos, o contexto em que estes são apresentados e analisados influencia a sua interpretação física. Consequentemente, isto faz emergir concepções errôneas profundamente enraizadas e não resolvidas, que urge desmontar e reconstruir.

VÍDEO 4: FORÇAS NOS MOVIMENTOS

Um carrinho de massa 250 g encontra-se sobre um trilho⁴. Ele é puxado por um corpo suspenso de 35 g que cai na vertical sob a ação da gravidade. Entre o carrinho e o corpo suspenso existe um fio inextensível de massa desprezável. O corpo suspenso atinge o solo antes de o carrinho chegar à ponta do trilho. Existe uma escala de comprimento sobre a mesa que permite a calibração do vídeo (Figura 4) e são visíveis as marcações das posições do carrinho e do corpo suspenso durante o movimento.

⁴ O vídeo pode ser acessado em <<https://youtu.be/RG7afSGOJTE>>.

Figura 4 - Forças nos movimentos



Fonte: Elaborado pelos autores.

Questões discutidas

- Caracterizar as forças que atuam sobre o carrinho e sobre o corpo suspenso.
- Identificar a resultante das forças responsável por colocar em movimento o conjunto carrinho + corpo suspenso.
- Interpretar o movimento do carrinho através das Leis de Newton.

Concepções errôneas detectadas

O vídeo foi pensado para averiguar a existência de concepções aristotélicas no movimento dos corpos, bem como o entendimento de que os alunos fazem do atrito e do papel das forças de atrito nos movimentos. Foram assim detectadas as seguintes concepções errôneas:

- O atrito não pode ser desprezado para um bloco, mas pode ser desprezado num carrinho. Esta visão simplista dos alunos revela um desconhecimento generalizado no ensino da cinemática sobre a origem das forças de atrito, que muitas vezes não é debatido nas aulas nem nos manuais escolares. Assim, enquanto num bloco debate-se o efeito das rugosidades das superfícies como origem do atrito estático e de escorregamento, um erro frequente é considerar que o atrito pode ser desprezado quando se tratam de sólidos de revolução; contudo nestes, a existência de atrito entre as superfícies de contato é fundamental para que haja rolamento (com ou sem escorregamento). Este fato impõe que os professores de Física devem ter

especial cuidado com situações que envolvam carrinhos (ou cilindros, ou esferas, ou outros sólidos de revolução), sobretudo quando supostamente se admite desprezar o atrito para efeitos de simplificação do problema, quando na realidade, por vezes, tal é abusivo e não pode ser feito. Deverá haver, assim, uma boa explicação para todas as considerações feitas no problema – neste caso, o atrito que se estaria a desprezar é o que ocorre nos eixos das rodas e não entre as rodas e a mesa, uma vez que, este último existe embora não realiza trabalho porque as rodas do carrinho rolam sem escorregar.

- Um corpo apenas se move quando lhe é aplicada uma força. Esta concepção aristotélica do movimento é facilmente desmistificada neste vídeo, porque o carrinho continua a mover-se mesmo depois do corpo suspenso atingir o solo. Contudo, o tipo de movimento que o carrinho tem não é totalmente claro para os alunos. Uma justificação encontrada neste estudo é que “[...] Quando o corpo [suspenso] cai, o carrinho faz um movimento uniformemente retardado se o atrito não for desprezável”, e também sobre as forças que atuam no carrinho indicaram “A força de atrito cinético no carrinho, o peso no corpo e a reação normal”, ou seja, o atrito é sempre visto como algo presente mesmo quando não há força externa na horizontal a atuar no carrinho. Consequentemente, para estes alunos, ou o atrito é desprezável e o corpo terá inicialmente um movimento uniformemente acelerado e depois um movimento uniforme, ou então quando o atrito não for desprezável ele terá um movimento uniformemente acelerado e depois uniformemente retardado.

Após a análise do vídeo, os alunos observam que o carrinho tem inicialmente um movimento uniformemente acelerado e depois uniforme após o corpo suspenso atingir o solo. Concluem então (e erradamente) que o atrito pode ser desprezado nesta atividade e quando tentam comparar os resultados quantitativos aos previstos teoricamente, verificam que os valores são diferentes (isto torna-se particularmente visível se forem usados carrinhos com rodas grandes e de massa apreciável). O vídeo (e a atividade experimental correspondente) é uma ótima ferramenta pedagógica para debater com os alunos:

- A origem das forças de atrito: quais podem ser desprezadas (eventualmente, a que atua no eixo das rodas) e quais não podem (a que está entre as rodas e o trilho, mas apenas quando o corpo suspenso exerce uma força horizontal sobre o carrinho; após aquele atingir o solo, essa força de atrito deixa de se fazer sentir e as rodas rolam sem escorregar).
- A segunda Lei de Newton e a existência de uma aceleração quando o corpo suspenso vai a cair.

- A igualdade das acelerações do carrinho e do corpo suspenso, pois o sistema move-se como um todo por ação da resultante das forças (o peso do corpo suspenso).
- A primeira Lei de Newton associada ao movimento uniforme que o carrinho passa a ter após o fio deixar de exercer uma força.

VÍDEO 5: COLISÃO A DUAS DIMENSÕES

Dois discos com a mesma massa (48 g), um vermelho e o outro azul, colidem um com o outro⁵. Inicialmente, o disco azul move-se na direção do eixo x, da esquerda para a direita, enquanto o vermelho se desloca segundo o eixo y de baixo para cima. Num determinado momento os discos colidem, alterando a direção de suas trajetórias (Figura 5) e são visíveis as marcações das posições dos discos antes e após a colisão. A régua vertical serve de calibração do vídeo.

Figura 5 - Colisão a duas dimensões



Fonte: Elaborado pelos autores.

Questões discutidas

- Averiguar se o momento linear do sistema se conserva.

Concepções errôneas detectadas

Esta AEBV foi usada para discutir um problema muito habitual nos alunos, que é a dificuldade em lidar com grandezas vetoriais. Embora em geral eles reconheçam as diferenças entre uma grandeza vetorial e uma grandeza escalar, quando se trata de analisar igualdades vetoriais usam inadvertidamente a igualdade escalar. Neste vídeo, a concepção errônea identificada é:

⁵ O vídeo pode ser acessado em <<https://youtu.be/GBzlud2ChBg>>.

- Para haver conservação do momento linear, $|\vec{p}_{1i}| + |\vec{p}_{2i}| = |\vec{p}_{1f}| + |\vec{p}_{2f}|$. Este é, infelizmente, um erro muito comum entre os alunos não apenas do Ensino Médio, como também no ensino universitário, que tratam o cálculo de grandezas vetoriais como se fossem escalares. A origem desta confusão entre escalares e vetores está na simplificação que, muitas vezes, se faz quando se abordam estas grandezas pela primeira vez, normalmente a uma dimensão. Se não ficar bem claro na mente dos alunos qual e por que se faz uma determinada simplificação, então a probabilidade de ele vir a cometer um erro grave é muito elevada. No caso concreto deste estudo, nenhum aluno foi capaz de responder corretamente a esta questão, pois se verificou que eles ficam tão dependentes das fórmulas matemáticas e resoluções algébricas, que não conseguem encontrar uma alternativa às equações para resolver o problema.

Vejamos então esta questão em detalhe. Para abordar o tópico das colisões entre corpos, é necessário introduzir o conceito de momento linear \vec{p} , uma grandeza vetorial que dá informação quanto à massa (m) de cada corpo e a sua velocidade (\vec{v}): $\vec{p} = m\vec{v}$. Na ausência de forças externas aplicadas aos corpos em colisão, a variação do momento linear total do sistema é nula (conservação do momento linear). Quando o problema é analisado a 1 dimensão, é usual escrever a conservação do momento linear de forma escalar, convencioando os sentidos em que a velocidade é positiva e negativa. Isto é possível, mas os alunos têm de estar atentos para a simplificação que é feita.

Se o movimento dos corpos for a duas ou mais dimensões, então há necessidade de trabalhar vetorialmente com estas grandezas. Neste caso, a conservação do momento linear no caso específico deste vídeo, é que $\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f}$, em que os índices i e f representam as situações antes e após a colisão, respectivamente.

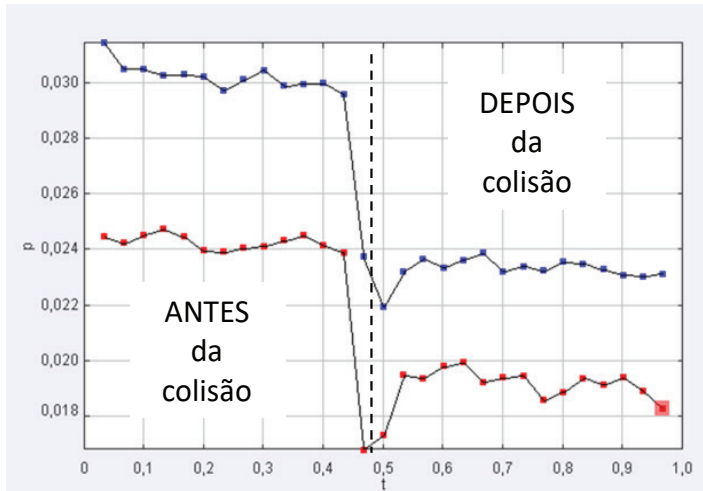
A análise pormenorizada dos movimentos dos corpos nas direções X e Y, usando as funcionalidades de cálculo do *Tracker* para determinar as componentes p_x e p_y de cada corpo, permite aos alunos não apenas estudar que há conservação do momento linear segundo X e segundo Y, mas também confirmar que essa conservação ocorre globalmente ao nível vetorial.

Todavia, há uma representação que vale a pena trabalhar com os alunos para mostrar que a igualdade $|\vec{p}_{1i}| + |\vec{p}_{2i}| = |\vec{p}_{1f}| + |\vec{p}_{2f}|$ está errada e assim promover a mudança conceptual e remover esta concepção errônea.

Assim, se eles calcularem e representarem os valores absolutos dos momentos lineares dos discos ANTES da colisão e DEPOIS da colisão em função do tempo, podem facilmente verificar que as respectivas somas não são iguais. Portanto, os alunos são forçados a concluir que a conservação do momento

linear não é uma lei escalar, mas sim vetorial (ver a Figura 6). A linha vertical a pontado marca o momento da colisão. Pode-se concluir que $|p_{\rightarrow(1_i)}| + |p_{\rightarrow(2_i)}| \neq |p_{\rightarrow(1_f)}| + |p_{\rightarrow(2_f)}|$.

Figura 6 - Valor absoluto do momento linear dos discos vermelho e azul, ANTES e DEPOIS da colisão



Fonte: Elaborados pelos autores.

CONCLUSÃO

As AEBV permitem abordar fenômenos físicos reais, que podem ser reproduzidos quantas vezes for desejado e facilitar a sua discussão com os alunos. As atividades experimentais usadas nesta pesquisa foram exploradas usando uma metodologia inspirada na abordagem P-O-E, para averiguar se os alunos possuíam o grau de conhecimento científico desejado para o nível de escolaridade, tendo em conta as metas de aprendizagem estabelecidas para esses alunos. A sequência de atividades experimentais aqui apresentadas permitiu identificar a presença de concepções errôneas que resistiram ao ensino formal dos conteúdos.

Do ponto de vista operacional, o aluno usa as AEBV num contexto digital que lhe permite observar e analisar os fenômenos repetidamente, confrontar as suas ideias prévias com a observação e reformular o seu entendimento dos conteúdos científicos. Isto conduz a uma prática reflexiva necessariamente benéfica, capaz de estimular o confronto de modelos mentais paralelos que eventualmente possam existir e identificar fragilidades no ensino e aprendizagem dos conteúdos que, de outro modo, podiam passar despercebidas ao aluno e ao professor.

Os resultados desta pesquisa sugerem que o recurso a atividades experimentais baseadas em vídeo, é uma prática que deve ser incentivada como ferramenta formativa, pois dá ao professor um *feedback* relevante e imediato sobre os conteúdos que deve reforçar nas suas aulas.

REFERÊNCIAS

- BASSOLI, F. Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciência(s): mitos, tendências e distorções, **Ciência & Educação**, Bauru, v. 20, n. 3, p. 579-593, 2014.
- BELLONI, M.; CHRISTIAN, W. Teaching Astronomy Using Tracker. **The Physics Teacher**, 51, n. 3, p. 149, 2013.
- BROWN, D. **Video Modeling**: Combining Dynamic Model Simulations with Traditional Video Analysis. Edmonton: American Association of Physics Teachers, 2008.
- BROWN, D.; COX, A. Innovative Uses of Video Analysis. **The Physics Teacher**, v. 47, n. 3, p. 145-150, 2009.
- CARVALHO, P. S.; CHRISTIAN, W.; BELLONI, M. Physlets e Open Source Physics para professores e estudantes portugueses. **Revista Lusófona de Educação**, Lisboa, v. 25, n. 25, p. 59-72, 2013.
- _____. et al. How to Use a Candle to Study Sound Waves. **The Physics Teacher**, v. 51, p. 398-399, 2013.
- _____. A interatividade e o papel da peer instruction no ensino e aprendizagem da Física, Atas do Simpósio Nacional de Ensino de Física, 21., 2015, Uberlândia. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2016. p. 599-618.
- CHRISTIAN, W.; BELLONI, M. **Physlets**: Teaching Physics with Interactive Curricular Material. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2001.
- _____.; _____. **Physlet Physics**: Interactive Illustrations, Explorations and Problems for Introductory Physics. New Jersey: Pearson Education Inc., 2004.
- DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHIAN, A. **Childre's Ideas in Science**. Buckingham: Open University Press, 1985.
- HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, **American Journal of Physics**, v. 66, n. 1, p. 64–74, 1998.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental Models**: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness. Cambridge: Harvard University Press, 1983.
- MAZUR, E. **Peer instruction**: a user's manual. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.
- MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Noções Básicas de Epistemologias e Teorias de Aprendizagem como subsídios para a organização de Sequências**

de Ensino-Aprendizagem em Ciências/Física, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

NOVAK, G. M. et al. **Just-in-Time Teaching**: Blending Active Learning with Web Technology. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

PAIVA, J.; MORAIS, C.; MOREIRA, L. **O multimédia no Ensino das Ciências**: Cinco anos de investigação e ensino em Portugal. Lisboa: Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2015. Disponível em: <<https://www.ffms.pt/FileDownload/826280cd-b1db-4059-aed9-f8e4f8a452ad/multimedia-no-ensino-das-ciencias>>. Acesso em: 27 jul. 2018.

REDISH, E. F.; SAUL, J. M.; STEINBERG, R. N. On the effectiveness of active-engagement microcomputer-based laboratories. **American journal of physics**, v. 65, n. 1, p. 45-54, 1997.

RODRIGUES, M.; CARVALHO, P. S. Teaching physics with Angry Birds: exploring the kinematics and dynamics of the game, **Physics Education**, v. 48, n. 4, p. 431-437, 2013.

_____; _____. Teaching optical phenomena with Tracker. **Physics Education**, v. 49, n. 6, p. 671-677, 2014.

_____; MARQUES, M.; CARVALHO, P. S. How to Build a Low Cost Spectrometer with Tracker for Teaching Light Spectra, **Physics Education**, v. 51, n. 1, p. 014002, 2016.

_____; CARVALHO, P.S. The centre of mass of a “flying” body revealed by a computational model. **European Journal of Physics**, v. 38, n. 1, p. 015002, 2017.

SERZEDELLO, M. **Física!? Isso para mim é Grego!** 1. ed. São José do Rio Preto: Hn Ed Publieditorial, 2012. (Coleção Produção Acadêmica).

THORNTON, R. K. Tools for scientific thinking-microcomputer-based laboratories for physics teaching. **Physics Education**, v. 22, n. 4, p. 230, 1987.

_____; SOKOLOFF, D. R. Learning motion concepts using real time microcomputer-based laboratory tools. **American journal of Physics**, v. 58, n. 9, p. 858-867, 1990.

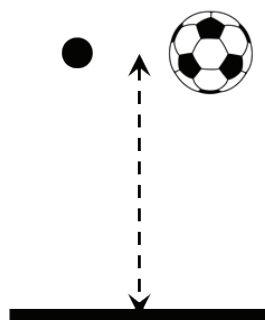
WHITE, R.; GUNSTONE, R. **Probing Understanding**. New York: Routledge, 1992.

WIEMAN, C. **PHET - simulações interativas para ciência e matemática**. 2002. Disponível em: <<https://phet.colorado.edu/pt/>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

WEE, L. K. et al. Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion. **Physics Education**, v. 47, n. 4, p. 448-455, 2012.

APÊNDICE A – ROTEIROS DE EXPLORAÇÃO DAS ATIVIDADES

ATIVIDADE 1: QUEDA DE GRAVES



Duas bolas de massas e dimensões diferentes, sendo uma delas uma bola de futebol, são soltas simultaneamente de uma janela que está a uma determinada altura do solo.

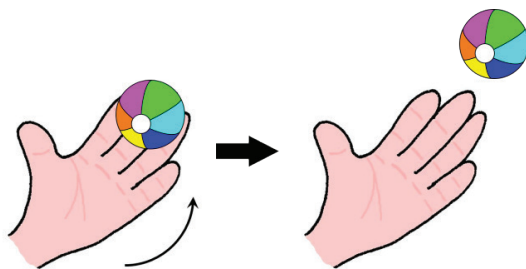
5. Caracterize a trajetória das bolas.
6. Caracterize o movimento das bolas.
7. Descreva, por suas próprias palavras, os gráficos da posição das bolas em função do tempo.
8. Qual das bolas chegará primeiro ao solo? Justifique.
9. Será que a massa de um corpo influencia o seu tempo de queda? Justifique.

Faça a análise do vídeo “Queda de graves” (<https://youtu.be/6mOc2VF9Bho>) e verifique se deseja reconsiderar alguma resposta dada anteriormente. Além disso, responda:

10. A resistência do ar influenciou o movimento de queda das bolas? Justifique.
11. No vídeo é possível perceber que uma das bolas chega ao solo ligeiramente antes da outra. A que se deve este efeito? Justifique.

ATIVIDADE 2: LANÇAMENTO DE UM PROJÉTIL

Uma bola é lançada obliquamente.



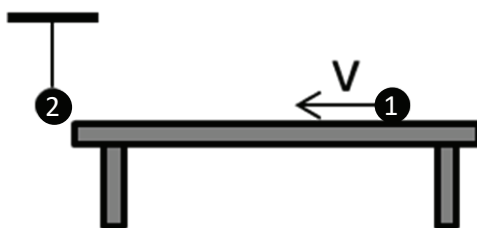
1. Qual ou quais as forças que atuam sobre a bola após ela perder o contato com a mão que a lançou? Faça um desenho esquemático representando esta(s) força(s) em três momentos distintos:
 - I. Logo após a bola perder o contato com a mão.
 - II. No ponto mais alto de sua trajetória.
 - III. Em algum momento posterior ao ponto mais alto da trajetória.
2. Caracterize o movimento do projétil no eixo x e no eixo y .
3. Faça um esboço dos gráficos $x(t)$, $y(t)$ e $y(x)$. Qual deles permite conhecer a trajetória de um corpo?
4. A partir dos gráficos $x(t)$ e $y(t)$ será que é possível inferir os gráficos $v_x(t)$ e $v_y(t)$?

Faça a análise do vídeo “Lançamento de um projétil” (<https://youtu.be/v4Rsyli-GJ-0>) e verifique se deseja reconsiderar alguma resposta dada anteriormente. Além disso, responda:

5. Qual o valor da aceleração do corpo?
6. Compare o valor encontrado com o valor padrão $9,8 \text{ m/s}^2$ e determine o erro percentual.

ATIVIDADE 3: QUAL CHEGA PRIMEIRO AO SOLO?

Uma bola percorre a superfície horizontal de uma mesa com uma certa velocidade (bola 1). Quando chega à extremidade da mesa, uma segunda bola (bola 2) é solta e cai verticalmente. Veja a figura esquemática.



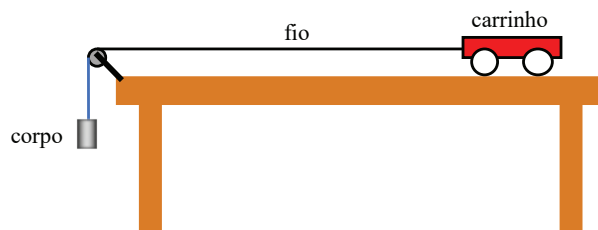
1. Caracterize o movimento das bolas 1 e 2.
2. Quais as diferenças nos gráficos $y_1(t)$ e $y_2(t)$?
3. Qual das bolas chegará primeiro ao solo?
4. Descreva a trajetória das bolas no plano XY.
5. Como variou a distância entre as bolas com o passar do tempo?

Faça a análise do vídeo “Lançamentos vertical e horizontal” (<https://youtu.be/DHFwQcm3nQc>) e verifique se deseja reconsiderar alguma resposta dada anteriormente. Além disso, responda:

6. Qual é o tamanho aproximado da bola? Como chegou a esta conclusão?

ATIVIDADE 4: FORÇAS NOS MOVIMENTOS

Um carrinho de massa 250 g move-se sobre um plano horizontal, puxado por um fio inextensível e de massa desprezável ligado a um corpo suspenso de massa 35 g, como mostra a figura seguinte.



1. Qual a diferença entre usar um carrinho ou um bloco, nesta experiência?
2. Represente as forças que atuam sobre o carrinho e sobre o corpo suspenso.
3. O peso e a normal que atuam sobre o carrinho formam um par ação-reação? Se não, qual é o par ação-reação com a força peso? E com a força normal?
4. Qual é a força responsável pelo movimento conjunto do carrinho + corpo suspenso?
5. Escreva as expressões da Segunda Lei de Newton para o movimento do carrinho e do corpo suspenso antes de este atingir o solo e, a partir delas, deduza uma expressão para a aceleração do conjunto carrinho + corpo suspenso. Utilize a equação deduzida para determinar a aceleração do sistema.
6. A aceleração do corpo suspenso será igual à da aceleração gravítica? Se não, faça uma previsão e justifique-a convenientemente.
7. Classifique, justificando, o movimento anterior.

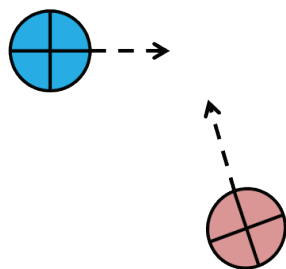
8. Se o fio for suficientemente comprido, o corpo suspenso acabará por colidir com o solo antes do carrinho atingir a extremidade da mesa e o fio deixará de puxar o carrinho.
 - 8.1 Represente num diagrama as forças que passarão a atuar no carrinho e no corpo.
 - 8.2 Qual será a resultante das forças sobre o carrinho? E sobre o corpo que estava suspenso?
 - 8.3 Preveja o que acontecerá ao carrinho. Justifique.
 - 8.4 Esboce um gráfico velocidade-tempo para o movimento do carrinho.
9. Caracterize os movimentos que o carrinho terá antes e depois do corpo suspenso atingir o chão.
10. Esboce um gráfico $x(t)$ e $v(t)$ para o carrinho e faça-os corresponder a cada situação do movimento.

Faça a análise do vídeo “Forças nos movimentos” e verifique se deseja reconsiderar alguma resposta dada anteriormente. Além disso, responda:

11. Qual é o valor experimental da aceleração do movimento em cada uma dessas situações?
12. Determine o valor das tensões que atuam sobre o carrinho e no corpo suspenso.
13. Pode considerar-se desprezável a atuação de forças de atrito? Justifique.
14. Indique, justificando com base em alguma das Leis de Newton, se a resultante das forças que atuam no carrinho é nula nalguma parte do movimento.
15. Um corpo poderá manter-se em movimento mesmo que a resultante das forças sobre ele seja nula? Justifique.

ATIVIDADE 5: COLISÃO A DUAS DIMENSÕES

Dois discos de mesma massa (48 g) movem-se sobre uma superfície horizontal e num determinado momento chocam um com o outro, como ilustra a figura esquemática na perspectiva por cima da superfície.



1. Será necessário conhecer as massas dos discos para concluir se houve conservação do momento linear do sistema? Justifique.
2. Faça a análise do vídeo “Colisão a 2D” (<https://youtu.be/GBzlud2ChBg>) e determine se o momento linear do sistema se conserva.

Tenha em conta os resultados experimentais e responda às seguintes questões:

3. Houve conservação da energia mecânica do sistema?
4. Faça a análise dos gráficos $p(t)$, para as diferentes componentes vetoriais da grandeza. O que se pode concluir? Que relação estabelece entre esses gráficos e a conservação do momento linear?

