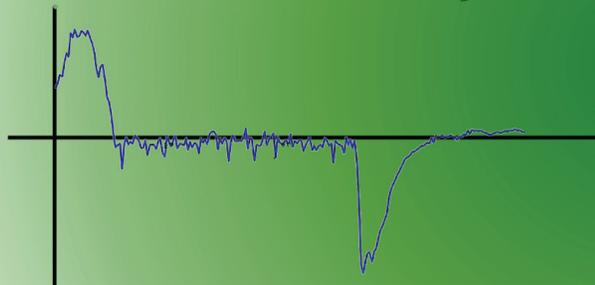


Mecânica com o acelerômetro de *smartphones* e *tablets*



.....
Leonardo P. Vieira

Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca,
Itaguaí, RJ, Brasil
E-mail: leofaraday@gmail.com

.....
Carlos Eduardo Aguiar

Instituto de Física, Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Rio de
Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: carlos@if.ufrj.br
.....

Introdução

Os *smartphones* e *tablets* são computadores extremamente portáteis com aplicações que vão muito além da comunicação telefônica ou acesso à internet. Por exemplo, esses dispositivos podem ser muito úteis ao ensino de física, por trazerem de fábrica uma variedade de sensores que medem grandezas físicas de interesse: acelerômetro (mede aceleração), giroscópio (mede velocidade angular), magnetômetro (campo magnético), luxímetro (intensidade luminosa), barômetro (pressão atmosférica), higrômetro (umidade do ar), GPS (posição) e sensor de proximidade, além dos facilmente reconhecíveis microfone e câmera fotográfica e de vídeo.

Todos esses sensores têm programas que leem as medidas efetuadas, mostram o resultado na forma de gráficos e armazenam os dados coletados em arquivos. Se necessário, os arquivos de dados podem ser enviados por *e-mail* (ou forma equivalente) a um computador maior para posterior análise. Muitos desses programas são gratuitos e podem ser obtidos facilmente via internet.

A diversidade de sensores encontrados nos *smartphones* e *tablets* torna possível realizar um grande número de experimentos e observações sem a utilização de aparelhos de medida dispendiosos e difíceis de encontrar em uma escola. Mais ainda, a portabilidade dos aparelhos facilita a montagem de experimentos em salas de aula regulares, dispensando em muitos casos o deslocamento dos alunos a um laboratório (que pode nem existir na escola). A realização de experimentos em sala de aula permite associar atividades

práticas à apresentação expositiva de conceitos físicos, auxiliando o aluno a compreender melhor aquilo que ele está estudando naquele momento. Para os docentes que acreditam que a experiência prática de observar e intervir no mundo é essencial à construção do conhecimento – “é agindo sobre o mundo que nossas ideias sobre ele se desenvolvem” [1] – o uso de *smartphones* e *tablets* em experimentos em sala de aula pode vir a ser muito útil. Em um dos poucos estudos

sobre como estudantes respondem à introdução desses aparelhos em atividades escolares, Van Dusen e Otero observaram que “ao facilitar a coleta de dados, análise e colaboração, os *tablets* permitiram que os estu-

A diversidade de sensores encontrados nos *smartphones* e *tablets* torna possível realizar um grande número de experimentos e observações sem a utilização de aparelhos de medida dispendiosos e difíceis de encontrar em uma escola

dantes tirassem suas próprias conclusões baseadas em evidências, ao invés de depender do livro ou professor para chegar a soluções” e que “ao contrário de anos anteriores, os alunos começaram a ir regularmente à sala de aula fora do horário de classe para trabalhar em projetos de física” [2].

A facilidade de uso dos *smartphones* e *tablets* em atividades práticas na sala de aula é reforçada pela possibilidade de apresentação gráfica em tempo real dos resultados das medidas, uma característica da maioria dos programas de leitura dos sensores. Isso torna mais simples avaliar rapidamente o que está sendo obtido num experimento, mostrando, por exemplo, que novas tomadas de dados devem ser realizadas ou que ajustes são necessários para melhorar a qualidade dos resultados. Ainda mais importante, ao ganhar acesso imediato a gráficos e análises estatísticas os estudantes podem avaliar melhor o significado e implicações dos resultados experimentais, comparan-

Descrevemos experimentos de mecânica baseados no acelerômetro encontrado em *tablets* e *smartphones*. Os experimentos são apropriados a cursos introdutórios de física, em particular (mas não exclusivamente) do Ensino Médio.

do-os com suas expectativas ou previsões. Dúvidas e questões levantadas durante esse processo podem, inclusive, levar à realização de novos experimentos que estendam a investigação original.

Os *tablets* e *smartphones* são atraentes como instrumentos de laboratório por motivos que vão além de sua utilidade como ferramenta de medida. Esses aparelhos são bastante difundidos entre os jovens na idade escolar, sendo muito utilizados em sala de aula, geralmente de forma imprópria e clandestina (troca de mensagens, redes sociais, etc.), gerando frequentes problemas disciplinares e levando algumas escolas a proibir seu uso. Eles fazem parte da vida e cultura dos estudantes, que estão acostumados a utilizá-los e encaram com interesse novas possibilidades de aplicação. O uso de um aparelho que faz parte do cotidiano fornece aos alunos uma referência familiar, capaz de mediar sua participação em experimentos didáticos. Essa mediação facilita não apenas a realização das atividades propostas pelo professor; ela também favorece o desenvolvimento de novas ações investigativas por parte dos alunos, como a proposta de experimentos que estendam a atividade prática original. Nada impede que essas ações sejam, inclusive, realizadas fora da sala de aula ou da escola. Como boa parte dos estudantes carrega um *smartphone* em seu bolso, eles podem utilizar os recursos do aparelho para analisar fenômenos do seu dia-a-dia, estabelecendo a relação essencial entre a física estudada na sala de aula e a experiência cotidiana.

Neste artigo apresentaremos experimentos de mecânica baseados no acelerômetro encontrado nos *tablets* e *smartphones* e relataremos atividades práticas realizadas em sala de aula, descrevendo em alguns casos a reação dos alunos. Uma discussão mais extensa, incluindo exemplos da utilização de outros sensores, pode ser encontrada na Ref. [3].

Mecânica com o acelerômetro

A maioria dos *tablets* e *smartphones* tem um acelerômetro, utilizado para organizar as telas desses dispositivos, mantendo textos e figuras orientados ao longo da direção de leitura mais confortável ao usuário.

O típico acelerômetro de um *tablet* ou *smartphone* é capaz de medir acelerações no intervalo ± 2 g (g é a aceleração da gravidade), em relação a um referencial inercial. A resolução pode chegar a 0,002 g, mas na prática é frequentemente limitada pelo ruído gerado por vibrações mecânicas do aparelho. O acelerômetro é um sistema eletromecânico baseado em

minúsculos capacitores cujas placas têm uma certa elasticidade, o que faz com que a distância entre elas varie quando o dispositivo sofre uma aceleração. Isso altera as capacitâncias, que uma vez medidas permitem a inferência da aceleração. Diferentes conjuntos de capacitores são dispostos de maneira a determinar a aceleração em três eixos distintos (X , Y e Z). Na maioria dos dispositivos os eixos estão dispostos como na Fig. 1.

Há muitos programas que registram as medidas do acelerômetro (as três componentes da aceleração) como função do tempo, apresentando o resultado em tempo real na forma de gráficos e armazenando os valores numéricos em tabelas que podem ser enviadas para outros computadores. Exemplos de programas gratuitos para os sistemas Android e iOS estão nas Refs. [4, 5].

Na verdade, o acelerômetro não mede propriamente a aceleração \mathbf{a} , mas a grandeza

$$\mathbf{a}' = \mathbf{g} - \mathbf{a},$$

onde \mathbf{g} é o vetor aceleração da gravidade. Por exemplo, o acelerômetro de um *smartphone* colocado sobre uma mesa com a tela para cima indicará $a'_x = a'_y = 0$ e $a'_z = -9,8$ m/s². Em queda livre (sem rotação) ele registrará $a'_x = a'_y = a'_z = 0$. Em alguns programas é possível “zerar” o acelerômetro, subtraindo das medidas o valor de \mathbf{a}' registrado no momento da calibração, a qual, supostamente, ocorre num instante em que $\mathbf{a} = 0$. Isso fará com que um aparelho em repouso (num referencial inercial) indique aceleração nula. É importante notar que essa calibração é feita componente a componente e, por-

Os tablets e smartphones são atraentes como instrumentos de laboratório por motivos que vão além de sua utilidade como ferramenta de medida, pois eles fazem parte da vida e cultura dos estudantes, que estão acostumados a utilizá-los e encaram com interesse novas possibilidades de aplicação



Figura 1. Orientação dos eixos que definem as componentes da aceleração de um *tablet* ou *smartphone* típico.

tanto, só será útil se o aparelho não sofrer rotações.

Queda livre

O experimento mais simples que pode ser feito com o acelerômetro é, provavelmente, a “queda livre”. Para realizá-lo em sala de aula basta subir em uma cadeira, iniciar a gravação dos dados do acelerômetro e deixar o *tablet/smartphone* cair, não sem antes pedir que um par de alunos estique um pano para aparar o dispositivo sem danificá-lo. A Fig. 2 mostra a aceleração medida em um desses experimentos. Note que o resultado é apresentado em unidades de g . Pode-se ver que a aceleração do *tablet/smartphone* manteve-se constante e igual a g durante a queda. A “calibração” disponível no programa foi usada; sem ela, como já mencionamos, encontraríamos aceleração zero durante a queda livre.

O experimento põe a teste, de maneira particularmente simples, uma das ideias

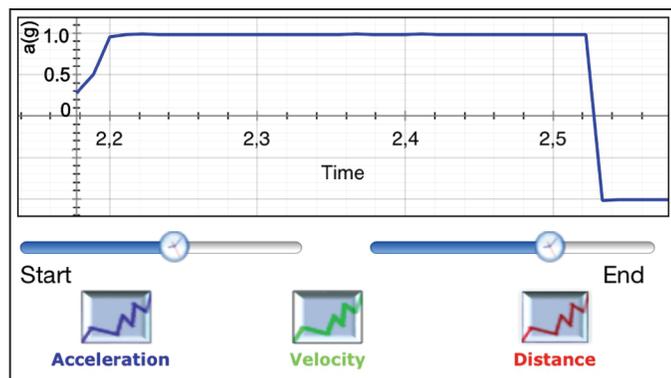


Figura 2. Aceleração em função do tempo no experimento de queda livre.

mais discutidas no Ensino Médio, a de que corpos em queda livre têm aceleração constante. Apesar da importância desse tema e do tempo dedicado a ele nos cursos introdutórios de física, poucos experimentos sobre a queda livre costumam ser realizados em sala de aula.

O experimento foi realizado pelos alunos de uma turma do segundo ano do Ensino Médio, que no momento estudavam cinemática. O gráfico mostrado na Fig. 2 foi obtido por um dos grupos que fizeram o experimento. Após fazer as medidas os alunos responderam a questões como:

(i) Quanto tempo o *tablet/smartphone* ficou no ar?

(ii) A aceleração do dispositivo permaneceu constante durante toda a queda?

(iii) Se deixarmos cair um *tablet* e um *smartphone*, qual registrará maior valor para a aceleração?

A última pergunta é uma releitura da questão clássica conhecida por todos os professores de física, e o resultado encontrado após o experimento não foi muito diferente do esperado. Dos 38 alunos da turma, 29 responderam que o *tablet* teria que registrar maior aceleração. A justificativa dada pelos alunos para essa resposta foi que o *tablet* é mais pesado que o *smartphone*. Com um experimento realizado logo em seguida foi possível observar em sala de aula que dois corpos de massas bem distintas – o *tablet* com 600 g e o *smartphone* com 100 g – caem com igual aceleração. Resultados experimentais como esse são importantes como estratégia de convencimento dos alunos, que muitas vezes interpretam impressões puramente visuais de acordo com suas concepções prévias, afirmando notar que o corpo mais pesado alcança o solo antes do mais leve mesmo quando isso não ocorre. Entretanto, como veremos mais à frente, nem mesmo uma confirmação experimental consegue convencer a maior parte dos alunos, mostrando que a desconstrução de um conceito arraigado leva tempo e exige múltiplas intervenções de naturezas distintas.

○ paraquedas

Um desenvolvimento natural do experimento de queda livre é o estudo dos efeitos de resistência do ar e o conceito de velocidade limite.

Para tanto, pedimos que os alunos descrevessem em um texto como seria a aceleração sentida por um paraquedista desde o salto do avião até a estabilização da velocidade com o paraquedas aberto. Dos 38 alunos da turma, 34 fizeram o trabalho e todos, sem exceção, disseram

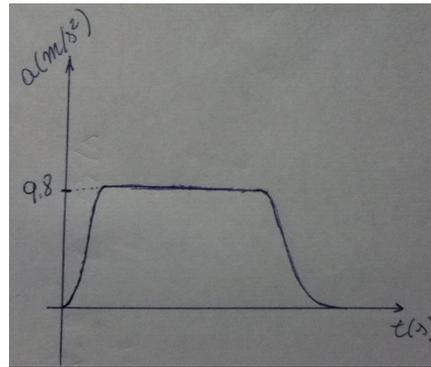


Figura 3. Esboço de um aluno do segundo ano do Ensino Médio, sobre como deveria ser a aceleração de um paraquedista desde o salto até depois da abertura do paraquedas.

que o paraquedista sentiria $9,8 \text{ m/s}^2$ até abrir o paraquedas. Desses 34, 19 disseram que após essa ação a aceleração diminuiria até se estabilizar. Alguns alunos esboçaram gráficos de como seria a aceleração em função do tempo; um exemplo está mostrado na Fig. 3.

Para por a teste a perspectiva apresentada pelos alunos, prendemos um pequeno paraquedas ao *smartphone* (Fig. 4), fomos até a uma janela do 2º andar da escola e deixamos o *smartphone* cair. O paraquedas estava inicialmente fechado e se abriu inflado pela passagem do ar. A aceleração medida pelo acelerômetro está mostrada na Fig. 5.

As regiões *a*, *b* e *c* no gráfico da Fig. 5 representam, respectivamente, o aparato antes de ser solto (seguro pelo professor à janela), o período em que o paraquedas está se abrindo e, finalmente, o paraquedas totalmente aberto.

Note que nessa última região temos uma aceleração negativa, o que indica que a força resultante está para cima, freando o conjunto. Isso mostra que quando o paraquedas se abre o *smartphone* está a uma velocidade maior que a limite, e portanto a resistência do ar será maior que a força peso, diminuindo a velocidade do conjunto até que ambas as forças se



Figura 4. O *smartphone* acoplado a um paraquedas caseiro.

igualem gerando uma situação de equilíbrio. A grande aceleração para cima (negativa) que surge quando o paraquedas se abre completamente é bem conhecida dos paraquedistas, que a chamam de *tranco*. O *plateau* em $-1g$ visto na região *c* do gráfico da Fig. 5 reflete a limitação do acelerômetro ao intervalo $\pm 2g$. Ao “zerarmos” o sensor somamos g à aceleração medida, o que produz um intervalo de leitura de $-g$ a $3g$.

É importante ressaltar como o resultado do experimento confronta a ideia original da maioria dos alunos de que numa queda a aceleração aponta sempre para baixo (ver a Fig. 3, por exemplo). Outro aspecto importante do experimento é que ele foge ao escopo tradicional do Ensino Médio, onde apenas situações envolvendo aceleração constante costumam ser tratadas. Os alunos, de maneira geral, relataram que gostaram muito dessa atividade; frases como “eu nem imaginava que poderia fazer tanta coisa com meu celular...” foram ouvidas.

○ iCar

Muitos experimentos interessantes podem ser realizados colocando-se o *tablet/smartphone* sobre um carrinho. Construímos esse carrinho prendendo quatro rodas de *skate* sob uma plataforma

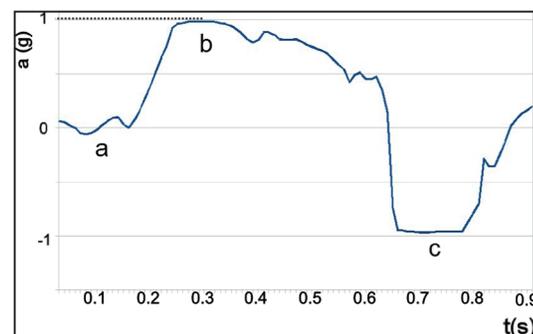


Figura 5. A aceleração em função do tempo do *smartphone* em queda com paraquedas.

desenhada para receber e proteger um *tablet*. O resultado da montagem foi chamado de *iCar* pelos alunos e está mostrado na Fig. 6.

Como primeira aplicação do *iCar* estudamos um simples empurrão sobre o carrinho, em uma turma do segundo ano do Ensino Médio. O *tablet* estava conectado por *wifi* a um computador de mesa, que por sua vez estava ligado a um *datashow*. Com isso a tela do *tablet* era projetada no quadro, de modo que os alunos podiam ver e analisar o gráfico da aceleração do *iCar*. O resultado de uma dessas medidas está na Fig. 7, que mostra a aceleração durante o empurrão que pôs o carrinho em movimento (região *a* do gráfico) e o deslocamento posterior (região *b*). Após um tempo o *iCar* foi freado (pelo pé de um aluno); essa desaceleração corresponde à região *c*.

Foi discutido com os alunos o porquê

da aceleração do *iCar* durante o empurrão ter sinal oposto à aceleração na frenagem. A relação entre a variação da velocidade e a área sob o gráfico da aceleração também foi discutida, e o fato das áreas das regiões *a* e *c* serem aproximadamente iguais (a menos do sinal) foi associado ao carrinho estar em repouso no início e final do movimento.

Para fazer uma experiência como essa não é necessário montar um carrinho “sofisticado” como o *iCar*. A mesma ideia pode ser implementada com o *skate* de um aluno, por exemplo, ao qual o *tablet* é preso com uma fita adesiva.

$$F = m a$$

Qualitativamente, a segunda lei de Newton diz que forças causam acelerações (e não velocidades, como pensava Aristóteles). Isso foi observado no experimento da seção anterior, em que o *iCar* era acele-

rado por “empurrões”. Mas como mostrar que a relação quantitativa entre força e aceleração é linear? Fizemos isso com auxílio de um dinamômetro de mola, com o qual estudamos a aceleração impelida ao *iCar* por uma força dada. O experimento é muito simples e está esquematizado na Fig. 8: fixamos uma das extremidades do dinamômetro na mesa do professor e a outra no *iCar*, distendemos o dinamômetro até atingir determinado valor da força e em seguida soltamos o carro, registrando a aceleração com o acelerômetro.

Repetindo esse procedimento para vários valores distintos da força, obtivemos gráficos da aceleração em função do tempo como os mostrados na Fig. 9. Como era de se esperar, em cada caso temos uma aceleração que varia com o tempo, pois a força exercida pelo dinamômetro diminui à medida que sua mola volta à posição de equilíbrio. A aceleração inicial do carrinho, relacionada à força registrada pelo dinamômetro, é dada aproximadamente pelo valor máximo da aceleração em cada curva. O resultado dessas medidas - força vs. aceleração máxima - está mostrado na Fig. 10. Os pontos são os resultados das medidas e a linha representa o ajuste de uma reta a esses dados. A qualidade do ajuste mostra que a força é linearmente proporcional à aceleração. Mais ainda, o coeficiente angular da reta ajustada é 1,63 kg, muito semelhante à massa do conjunto *iCar*+*smartphone*, que era de 1,54 kg (uma diferença de 5,8%).

Após realizar o experimento e encontrar a relação entre a força e a aceleração, foi perguntado aos alunos o que ocorreria se mudássemos a massa do conjunto, acelerando-o sempre com a mesma força inicial? A maioria dos alunos afirmou que a aceleração deveria diminuir com o aumento da massa. Alguns estudantes fizeram esboços de gráficos para auxiliá-los na resposta. Um desses gráficos pode ser visto na Fig. 11, tendo o autor sugerido que o experimento ficaria mais completo se também alterássemos a massa, uma proposta interessante já que vários dos gráficos apresentados pelos alunos descreviam uma diminuição linear da aceleração com a massa.

O *iCar* no plano inclinado

O plano inclinado é um dos temas prediletos no ensino de mecânica. Geralmente ele é abordado de maneira puramente teórica (e chata, segundo muitos alunos), sem apoio de experimentos quantitativos. Com o *iCar* - ou qualquer carrinho capaz de carregar um *tablet* ou



Figura 6. O *iCar*, carrinho de brinquedo que transporta um *tablet*.

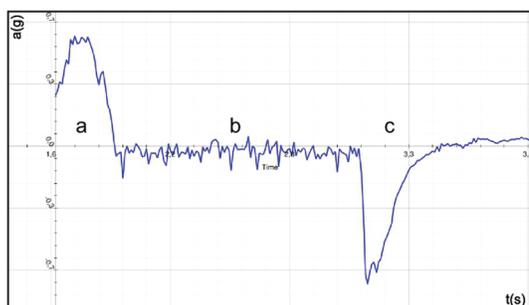


Figura 7. Aceleração durante o empurrão (*a*), deslocamento (*b*) e frenagem (*c*) do *iCar*.

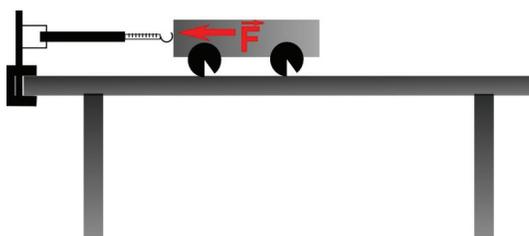


Figura 8. O *iCar* preso a um dinamômetro.

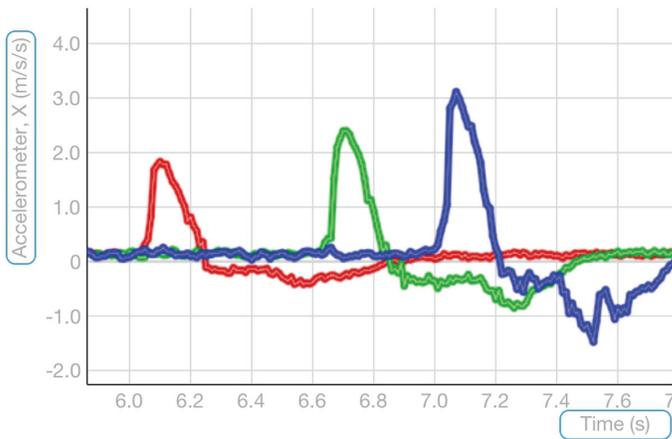


Figura 9. Acelerações impelidas ao *iCar* por diferentes forças.

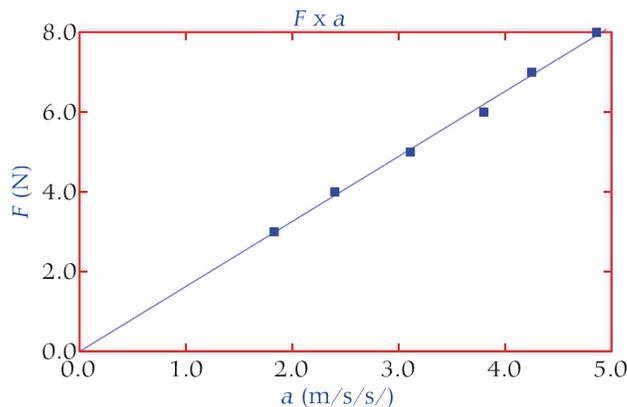


Figura 10. Força registrada no dinamômetro em função da aceleração máxima do carrinho. Os pontos são as medidas efetuadas e a linha é um ajuste linear aos dados.

smartphone - é possível realizar experimentos sobre o movimento em planos inclinados, colocando os resultados teóricos a teste.

Os experimentos foram realizados em sala de aula e o plano inclinado foi construído apoiando a mesa do professor sobre uma cadeira, como esquematizado na Fig. 12.

O ângulo de inclinação ϕ foi determinado com o próprio acelerômetro, uma vez que vários programas de leitura desse sensor são capazes de indicar a inclinação

do aparelho em relação à direção vertical, funcionando como medidores de “nível”.

Após inclinar a mesa, o *iCar* foi colocado sobre ela e seguro por um obstáculo. A tela do *tablet* foi projetada por um *datashow*, via *wifi* e um segundo computador. A inclinação foi medida com o programa de “nível”, resultando em $\phi = 14,5^\circ$.

Foi então pedido aos alunos que calculassem a aceleração com que o carrinho desceria esse plano inclinado, fazendo um diagrama de forças e aplicando a segunda lei de Newton. Muitos alu-

nos disseram que não seriam capazes de realizar a tarefa por não saberem o valor da força de atrito. Pedimos a eles que desconsiderassem o atrito, dizendo que mais à frente seríamos capazes de verificar se essa hipótese fora razoável. Na lousa da sala de aula estavam escritos o ângulo medido, a massa do conjunto *iCar* + *tablet*, a aceleração da gravidade e o comprimento do tempo da mesa. Boa parte dos alunos chegou ao resultado esperado, ou seja, que desprezando o atrito a aceleração do carrinho seria

$$a = g \sin(14.5^\circ) = 2,4 \text{ m/s}^2.$$

O passo seguinte foi realizar o experimento. Retiramos o obstáculo que segurava o carro e medimos a aceleração do movimento. O resultado encontrado está na Fig. 13. Do gráfico vemos que aceleração do *iCar* foi de aproximadamente $2,3 \text{ m/s}^2$. O valor calculado ($2,4 \text{ m/s}^2$) está muito próximo do medido; a pequena discrepância provavelmente deve-se a efeitos desprezados no cálculo (atrito, momento de inércia das rodas, etc.)

É interessante notar que a grande maioria dos alunos utilizou o valor da massa do carrinho em seus cálculos da aceleração, sem perceber que isso era desnecessário. Até os que erraram o cálculo (em geral por não dominarem decomposição de vetores) incluíram o valor da massa em suas considerações. Então, após o término do experimento, fizemos a seguinte pergunta: “Se aumentarmos a massa carregada pelo *iCar* e o deixarmos descer o plano inclinado, o que ocorrerá com a aceleração?”. As alternativas eram:

- (i) A aceleração diminui.
- (ii) A aceleração mantém-se a mesma.
- (iii) A aceleração aumenta.

Dos 32 alunos participantes, apenas 9 escolheram a alternativa correta (ii). A alternativa (iii), que reflete a noção usual de que “o mais pesado desce mais rápido”, foi a escolhida por 18 alunos, mais da metade do total. A opção (i) foi escolhida por 7 alunos. Assim, constatamos que

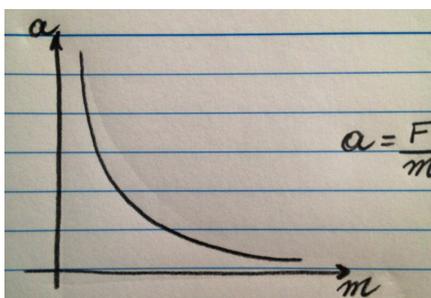


Figura 11. Gráfico de aceleração por massa, esboçado por um aluno do segundo ano do Ensino Médio.

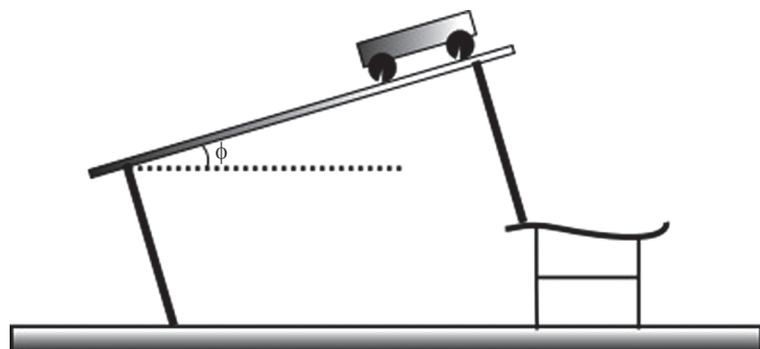


Figura 12. O plano inclinado com o *iCar*.

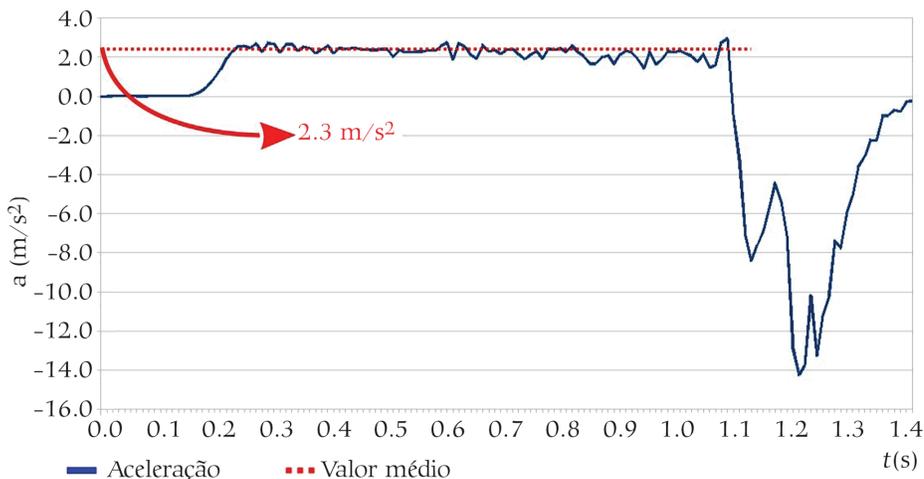


Figura 13. Aceleração do *iCar* deslizando sobre a mesa inclinada.

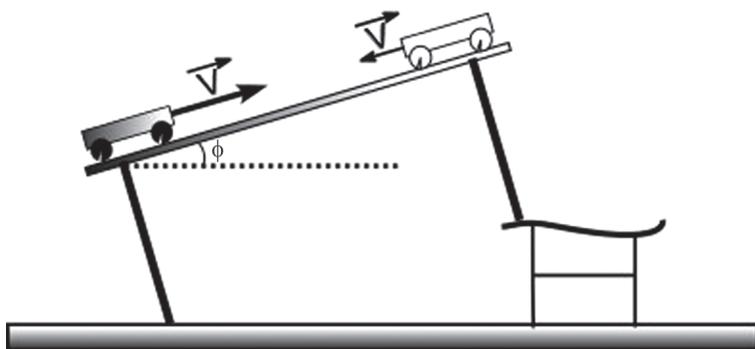


Figura 14. Subida e descida do *iCar* em uma mesa inclinada.

apesar de terem discutido a queda livre corpos de massas diferentes em um experimento anterior, os alunos não foram capazes de fazer a conexão entre um experimento e outro. Dos 9 alunos que responderam corretamente, 4 o fizeram por que decidiram fazer as contas com a massa diferente e perceberam que ela não era necessária; os demais não deram uma justificativa plausível para suas escolhas.

Ainda em sala de aula, realizamos uma variação simples e instrutiva do experimento: empurramos o *iCar* ladeira acima e o aparamos de volta (ver a Fig. 14).

Essa versão do experimento permite a releitura de uma questão clássica, que revela quão grandes são as dificuldades enfrentadas pelos alunos na aprendizagem de mecânica. A questão é: quando jogamos uma bolinha para cima, o que acontece com a sua aceleração no ponto mais alto da trajetória? É bem sabido pelos professores de cursos introdutórios de física (e confirmado pela literatura, ver Refs. [6,7], por exemplo) que grande parte dos alunos diz que a aceleração do corpo é zero no alto da trajetória. Concepções intuitivas e um entendimento precário de

conceitos de cinemática e da segunda lei de Newton levam esses alunos a não admitir que um corpo com velocidade zero possa ter aceleração não nula.

Após realizar o experimento como

esquematizado na Fig. 14 pedimos que os alunos se dividissem em grupos e discutissem o movimento a partir do gráfico da aceleração gerado na tela do *tablet*, visível a todos via o *datashow* (Fig. 15). Note que o gráfico também mostrava a velocidade e a posição do carrinho, calculadas pelo programa de leitura do acelerômetro [5]. Apenas uma pergunta foi feita: o que acontece com a aceleração do *iCar* quando ele está no ponto máximo de sua trajetória? Sem exceção, todos os grupos responderam que a aceleração caía a zero! Isso tendo à sua frente um gráfico que dizia outra coisa! Em seguida os alunos foram solicitados a apontar no gráfico (que continuava projetado à vista de todos) o instante de tempo em que o valor a aceleração assumia o valor zero. Os alunos responderam que não havia esse instante. Perguntados sobre por que, então, haviam afirmado que a aceleração era zero quando o carrinho chegava no ponto mais alto, os alunos disseram, em grande maioria, que “isso era óbvio e que não precisavam do gráfico para responder à questão”.

Conclusões

A experimentação tem papel fundamental no processo de ensino e aprendizagem da física. Sua importância vai muito além daquela sugerida por um certo empirismo ingênuo, mas muito difundido, segundo o qual a fonte de todo conhecimento científico seria a observação da natureza [8]. Na aprendizagem da física o experimento atua como mediador essencial entre o mundo real e as ideias e conceitos que os alunos tentam construir (ou substituir) em seus estudos.

Nos exemplos mostrados neste traba-

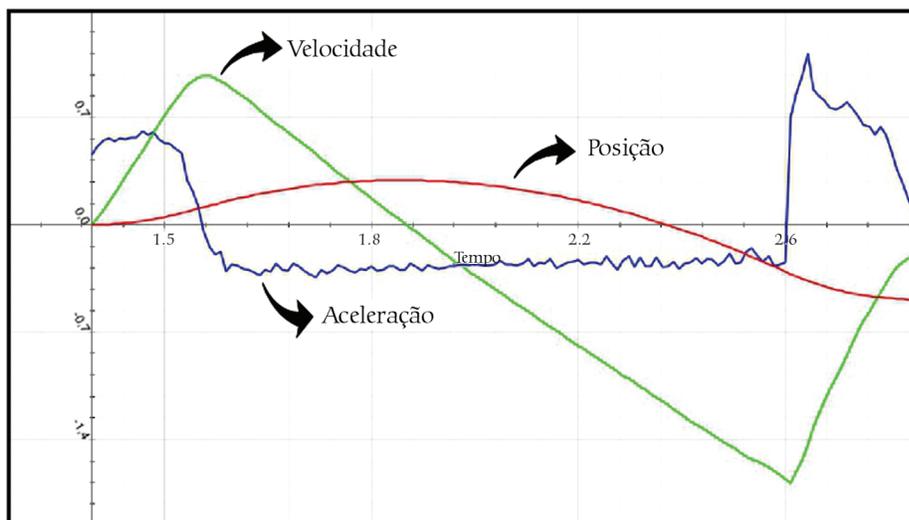


Figura 15. Aceleração, velocidade e posição do *iCar* durante a subida e descida em uma mesa inclinada. A velocidade e posição são calculadas a partir da aceleração pelo programa de leitura do acelerômetro [5].

lho, vimos que *tablets* e *smartphones* podem viabilizar o desenvolvimento de experimentos didáticos em que a coleta e apresentação dos dados é realizada com extrema rapidez e simplicidade, abrindo espaço para a discussão e interpretação imediatas dos resultados encontrados e facilitando a integração de atividade práticas a aulas que de outro modo seriam puramente expositivas.

Todos os experimentos que apresentamos foram baseados no acelerômetro.

É interessante notar que, embora seja uma grandeza fundamental para o estudo da mecânica, a aceleração raramente é medida diretamente em laboratórios didáticos convencionais, pois acelerômetros costumam ser sensores caros e difíceis de operar. Como vimos, essa situação mudou radicalmente com o surgimento dos *tablets* e *smartphones*, e é razoável prever que algo semelhante deverá ocorrer com outros sensores desses aparelhos.

Finalmente, deve ser ressaltado que as atividades que descrevemos tiveram resultados muito promissores no que diz respeito ao engajamento dos estudantes às práticas realizadas e às discussões que as acompanharam. Se bem explorada, a possibilidade do aluno utilizar seu próprio aparelho celular na investigação de fenômenos físicos abre muitas possibilidades de atuação, inclusive fora da escola, aproximando situações cotidianas aos temas abordados em sala de aula.

Referências

- [1] R. Millar, *The Role of Practical Work in the Teaching and Learning of Science*. Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision (National Academy of Sciences, Washington, 2004).
- [2] B. Van Dusen and V. Otero, in: *2012 Physics Education Research Conference*, editado por P.V. Engelhardt, A.D. Churukian e N.S. Rebello (AIP Publishing, Melville, 2013), p. 410-413.
- [3] L.P. Vieira, *Experimentos de Física com Tablets e Smartphones*. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro (2013).
- [4] *Physics Toolbox Accelerometer* (para Android), Vieyra Software, disponível em <https://play.google.com>.
- [5] *Mobile Science - Acceleration* (para iOS), Indiana University, disponível em <https://itunes.apple.com>.
- [6] D.E. Trowbridge e L.C. McDermott, *American Journal of Physics* **49**, 242 (1981).
- [7] A.B. Arons, *Teaching Introductory Physics* (Wiley, Nova Iorque, 1997).
- [8] A.T. Borges, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 291 (2002).

Obras selecionadas – Serie MNPEF

Os livros da Série MNPEF são distribuídos gratuitamente aos professores que frequentam os cursos de pós-graduação em qualquer um dos 60 polos distribuídos pelo país.

Mecânica Quântica Básica

Autores: Marcel Novaes e Nelson Studart

Instituição: Universidade Federal de Uberlândia e Universidade Federal do ABC Paulista

O livro é destinado a docentes professores de física do Ensino Médio, em especial, aqueles alunos do Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) com vistas à aprendizagem de conteúdos específicos e atualização de conhecimentos de física contemporânea. A obra propõe uma abordagem diferente da apresentada nos livros didáticos tradicionais ao descartar a introdução usual de aspectos históricos, ao omitir qualquer referência a modelos clássicos (como o de Bohr) e analogias a sistemas e experimentos clássicos. Abrange conceitos modernos como emaranhamento, descoerência e informação quântica. A obra reconhece a complexidade do ensino da mecânica quântica, mas considera que o conhecimento da física clássica seja um pré-requisito indispensável para a compreensão da mecânica quântica. Esta trata de objetos quânticos (fótons, elétrons, prótons, etc.) descritos por estados quânticos dentro de uma estrutura formal única. A matemática exigida é somente a necessária para a compreensão conceitual. Sugere-se o uso intensivo de tecnologia digital: animações, *applets* e simulações, leituras e consultas a web e deve manter um sistema interativo para comunicação com o professor por meio de redes sociais.

