

***Physlets e Open Source Physics* para professores e estudantes portugueses**

Paulo Simeão Carvalho, Wolfgang Christian
& Mario Belloni

Resumo

Hoje em dia, muitos professores utilizam, na sua prática letiva, software educativo para o ensino da Física. Muito desse software resulta em aplicações multimédia, de onde se destacam as simulações e os vídeos educativos. Apesar da qualidade dos materiais disponíveis na internet, um dos problemas com que os professores se deparam é, com frequência, a ausência de sugestões de exploração didática adequadas, que tornem o uso desses recursos em verdadeiras ferramentas de ensino interativo. Por Ensino Interativo, referimo-nos a “todo o ensino elaborado para promover a aprendizagem conceptual através do envolvimento interativo dos alunos, em atividades de raciocínio (sempre) e práticas (habitualmente), que conduzam a um feedback imediato através da discussão entre os alunos e/ou o professor” (Hake, 1998). Neste contexto, o uso da modelação matemática associada quer ao algoritmo por detrás das simulações, quer à análise dos dados recolhidos a partir daquela, constitui uma mais-valia na aprendizagem conceptual dos alunos que raramente é contemplada pelos programas nacionais e consequentemente, pelos professores. Neste trabalho são apresentados dois projetos (Physlets e Open Source Physics) de produção de materiais interativos, acessíveis através da Web e que atualmente podem ser utilizados pelos estudantes e professores portugueses.

Palavras-chave:

simulações; biblioteca digital; Physlets; Open Source Physics; modelação de vídeo.

Physlets and Open Source Physics for Portuguese teachers and students

Abstract: Nowadays, many teachers use in their teaching practice, educational software for teaching physics. Much of this software results in multimedia applications, where we highlight the simulations and educational videos. Despite the quality of the materials available on the Internet, one of the problems that teachers face is the frequently lack of adequate teaching suggestions of exploitation, that make use of these resources for interactive teaching tools. By Interactive Learning, we refer to "all education designed to promote conceptual learning through interactive engagement of students in activities heads-on (always) and hands-on (usually), which yield immediate feedback through discussion with peers and / or teachers" (Hake, 1998). In this context, the use of mathematical modeling related either to the algorithm behind the simulations, either as an analysis of data collected from that, is an asset in conceptual learning of students that is rarely addressed by national programs and consequently by teachers. This paper presents two projects (*Physlets* and *Open Source Physics*) to produce interactive materials, accessible via the Web and which can now be used by Portuguese pupils and teachers.

Keywords: simulations; digital library; Physlets; Open Source Physics; video modeling.

Physlets et Open Source Physics pour professeurs et étudiants portugais

Résumé: Aujourd'hui, de nombreux enseignants utilisent dans leur pratique de l'enseignement, des logiciels éducatifs pour enseigner la physique. Une grande partie de ce logiciel se traduit par des applications multimédia, où nous soulignons des simulations et des vidéos éducatives. Malgré la qualité des matériaux disponibles sur l'Internet, l'un des problèmes que rencontrent les enseignants est souvent un manque de suggestions pédagogiques appropriées d'exploitation, qui font usage de ces ressources en tant que véritables outils pédagogiques interactifs. Pour l'enseignement interactif, nous nous référons à « toutes les études visant à promouvoir l'apprentissage conceptuel à travers l'engagement interactif des élèves à des activités de réflexion (toujours) et pratiques (en général), conduisant à un retour immédiat à travers la discussion entre les élèves et / ou de l'enseignant" (Hake, 1998). Dans ce contexte, l'utilisation de la modélisation mathématique liée soit à l'algorithme derrière les simulations ou l'analyse des données recueillies à partir de cela, c'est un gain sur l'apprentissage conceptuel des élèves qui sont rarement abordés par les programmes nationaux et, par conséquent, par les enseignants. Cet article présente deux projets (*Physlets* et *Open Source Physics*) pour produire des matériaux interactifs accessibles via le Web et qui peuvent actuellement être utilisés par les étudiants et les enseignants portugais.

Mots-clés: simulations; bibliothèque numérique; Physlets; Open Source Physics; modélisation vidéo.

Physlets y Open Source Physics para profesores y estudiantes portuguesas

Resumen: Hoy en día, muchos profesores utilizan en su práctica docente, software educativo para la enseñanza de la física. Gran parte de este programa resulta en aplicaciones multimedia, donde se destacan las simulaciones y los videos educativos. A pesar de la calidad de los materiales disponibles en el Internet, uno de los problemas que los profesores encuentran es a menudo la falta de propuestas de explotación de enseñanza adecuadas, que hacen uso de estos recursos como verdaderas herramientas de enseñanza interactiva. Por Enseñanza Interactiva, nos referimos a "toda la educación diseñada para promover el aprendizaje conceptual a través de la participación interactiva de los estudiantes en actividades de pensar (siempre) y prácticas (por lo general), dando lugar a una respuesta inmediata a través de la discusión entre los estudiantes y / o el profesor" (Hake, 1998). En este contexto, el uso de modelos matemáticos en relación con cualquiera de los algoritmos detrás de las simulaciones y el análisis de los datos recogidos de eso, es una ganancia en el aprendizaje conceptual de los estudiantes que rara vez se aborda en los programas nacionales y, en consecuencia por los profesores. Este artículo presenta dos proyectos (*Fislets* y *Open Source Physics*) para producir materiales interactivos accesibles a través de la Web y que en la actualidad puede ser utilizado por los estudiantes y los profesores portugueses.

Palabras-clave: simulación; biblioteca digital; Fislets; Open Source Physics, modelado de vídeo.

Introdução

O ensino por computadores instalou-se nas nossas escolas e instituições educativas. Como consequência, uma boa parte do ensino teórico e experimental das ciências já não consegue ser feito sem o auxílio dos computadores. Há vários exemplos de ferramentas de modelação e simulação de qualidade em Física, de atividades virtuais ou de vídeo, quer ao nível de *software* gratuito como o Modellus (Teodoro & Neves, 2011) e o Avimèca (Legall, 2007), ou as animações de Walter Fendt (*Applets Java de Física*, 2009) e o projeto *PHET* (Interactive Simulations, 2011), quer *software* comercial como o Logger Pro (Vernier, 2012), quer ainda programas de ensino assistido por computador como o *Coach* (Heck, Kadzierska & Ellermeijer, 2009) ou o *Physics Suite* (Redish, 2003).

Apesar dos progressos na investigação educacional, verifica-se que o uso dos computadores na prática letiva permanece ausente em muitos programas de Física, nomeadamente ao nível do ensino pré-universitário. Em geral, os estudantes tomam contacto com atividades virtuais através dos seus professores, dos livros e/ou dos manuais escolares, mas poucos estão preparados para avaliar criticamente essas simulações; ainda são menos aqueles a quem lhes é pedido para criar os seus próprios modelos computacionais. De facto, um estudante de Física pode nunca vir a sentir necessidade de analisar criticamente uma simulação, ou de estudar um algoritmo computacional, simplesmente porque tal não lhe é requerido no acesso a níveis de estudos superiores ou em provas de acesso a esses níveis (como, por exemplo, nos exames nacionais para acesso ao Ensino Superior Português, ou nos *Scholastic Aptitude Test* e nos *Graduate Record Examination* para acesso a doutoramento nos Estados Unidos da América).

As *Physlets* e o *Open Source Physics* são projetos educacionais que visam fornecer materiais didáticos para o ensino da Física, com vista à aquisição de competências fundamentais que todo o estudante de Física deveria ter (Karplus, 1977). Este artigo descreve como estão a ser disponibilizados e adaptados os materiais didáticos resultantes destes projetos, para o público em geral mas sobretudo para professores e estudantes de língua Portuguesa.

Physlets

Há uma década atrás, nos Estados Unidos, um esforço interuniversitário foi pioneiro na criação de tecnologia e pedagogia baseadas na *Web*, do qual resultou o desenvolvimento do método *Just-in-Time Teaching* (*JiTT*) (Novak, Patterson, Gavrín & Christian, 1999) e o aparecimento das *Physlets*. O termo *Physlet* (*applet* de Física), refere-se ao conjunto de 40 *applets* (miniaplicações) criadas no *Davidson College* para o ensino da Física. Estas *applets* em Java são pequenas

e flexíveis, podendo ser usadas numa grande variedade de aplicações da *World Wide Web*. Muitas outras simulações de Física em linguagem Java vão sendo produzidas por todo o mundo (Interactive Simulations, 2011; *Applets Java de Física*, 2009), algumas das quais bastante úteis no ensino. Contudo, a classe de simulações a que chamamos *Physlets* tem alguns atributos que as tornam únicas e particularmente valiosas na tarefa educacional:

- As *Physlets* são simples. Os gráficos são simples; cada *Physlet* é construída para abordar uma única faceta de um fenómeno ou conceito, não incorporando muito da forma de análise de dados. Isto torna as *Physlets* relativamente pequenas, portanto facilmente descarregáveis, mesmo a partir de ligações de internet lentas. A sua simplicidade também advém do facto de conter apenas informação relevante para o problema a resolver, removendo da simulação detalhes potencialmente mais distraidores do que úteis.
- As *Physlets* são flexíveis. Todas as *Physlets* podem ser controladas por comandos JavaScript. Por exemplo, o pacote *Animator* pode ser utilizado em praticamente todos os problemas envolvendo forças ou trajetórias de partículas. Apenas os comandos JavaScript - e não o núcleo em Java - que controlam a animação necessitam ser alterados. A aquisição de dados e a respetiva análise, podem ser incorporadas na simulação quando necessário, usando inter-aplicações.
- As *Physlets* são criadas para a Web. Correm em (quase) todas as plataformas e podem ser inseridas em qualquer documento do formato html, seja ele uma tarefa educativa, uma página pessoal ou um documento extenso sobre ciência. As *Physlets* podem ainda ser usadas como ferramentas didáticas de qualquer currículo programático em Física (Dancy & Beichner, 2006).
- As *Physlets* são distribuídas gratuitamente para uso não comercial. Os seus arquivos, isto é, os ficheiros compactados contendo programas Java compilados, podem ser descarregados do servidor *WebPhysics* do *Davidson College* (Physlets, 2007). Estes ficheiros, depois de gravados no disco-duro do computador ou num servidor de uso não comercial, permitem o acesso simplificado a materiais didáticos, que podem ser posteriormente personalizados por professores e estudantes.

O Projeto *Physlets* (2007) já levou à produção de mais de 1.500 simulações de distribuição gratuita e 2 livros com material curricular (Christian & Belloni, 2001, Christian & Belloni, 2003), sendo também uma das mais conhecidas e

bem sucedidas inovações educacionais para o ensino universitário e pré-universitário nos Estados Unidos da América. Uma procura no motor de busca da Google revela existir cerca de 38.000 páginas *Web* de simulações baseadas em *Physlets*. Para além das obras acima referidas, têm sido incluídas *Physlets* em vários livros de texto e foram editados livros traduzidos em espanhol, eslovaco, alemão e hebraico; neste momento as *Physlets* estão também a ser traduzidas para português com enquadramento didático, estando para breve a publicação de um livro pelos autores deste trabalho. Mais recentemente, a publicação do livro *Physlet Quantum Physics* (Belloni, Christian & Cox, 2006) expandiu o uso de *Physlets* a níveis mais elevados de instrução no panorama do ensino universitário.

Uma investigação experimental recente, realizada em sete escolas portuguesas, sobre o impacto da utilização de *Physlets* e questões conceptuais na prática letiva no ensino secundário, revelou nas escolas de intervenção, ganhos normalizados de aprendizagem nos testes de diagnóstico *Force Concept Inventory* (FCI) (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992) e *Fluid Mechanics Concept Inventory* (FMCI) (Martin, Mitchell, & Newell, 2003), significativamente superiores aos medidos nas escolas de controlo, onde estes materiais não foram usados (Briosa & Carvalho, 2010).

As *Physlets* e outros materiais interativos em português, estão já disponíveis para utilização *online* por professores e alunos, como parte de um projeto de intervenção em escolas portuguesas que manifestem interesse em trabalhar com os autores (Carvalho & Briosa, 2012), com início em setembro de 2012.

Um bom exemplo do envolvimento dos alunos com as *Physlets* é a experiência virtual da segunda lei de Newton (Briosa & Carvalho, 2011), representada na figura 1. Esta simulação foi usada em contexto escolar, como tarefa investigativa para estudantes do 11º ano, sobre a relação entre uma força externa, F (o peso das massas suspensas), aplicada ao sistema em estudo e a aceleração, a , adquirida pelo carrinho de massa desconhecida.

Foi sugerido aos professores que estimulassem o cálculo da aceleração do carrinho por duas técnicas diferentes, de acordo com o nível cognitivo e conhecimento conceptual dos seus estudantes: (1) determinação do declive da reta na representação linear da rapidez do carrinho em função do tempo (definição operacional de aceleração), ou (2) ajuste de uma expressão matemática de segundo grau à curva da posição do carrinho em função do tempo, a partir dos dados recolhidos da animação.

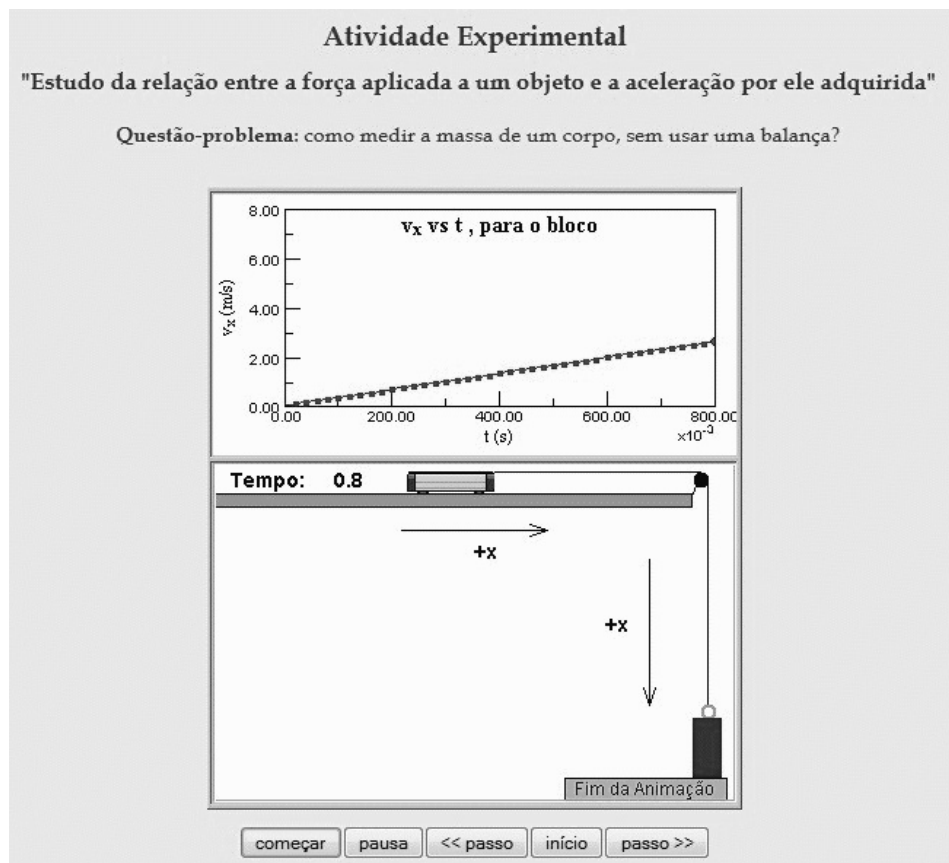


Figura 1: Atividade experimental virtual sobre a segunda lei de Newton

Após o cálculo da aceleração do carrinho (por um dos processos anteriormente descritos), foi solicitado aos estudantes que fizessem uma previsão do que esperavam obter na representação gráfica de F vs. a , tendo depois esta previsão sido comparada com o gráfico dos valores recolhidos da simulação.

Da relação linear obtida entre as duas grandezas, os estudantes puderam calcular o fator de proporcionalidade direta, correspondente à massa total do sistema em estudo e a partir desse valor, obtiveram a massa do carrinho.

Esta *Physlet* permite, assim, o estudo da segunda lei de Newton, de uma maneira diferente da que é habitualmente explorada em aulas tutoriais e até laboratoriais. Em particular, é dada a oportunidade aos estudantes de manipular dados "experimentais" na resolução do problema, aplicando os seus conhecimentos e competências num contexto enriquecido e portanto, tornando

a aprendizagem mais motivadora e desafiante. Outra vantagem é que ele pode correr a simulação tantas vezes quantas quiser, no local que mais lhe convém (em casa, na escola, com os colegas, ...) e à hora preferida.

É aqui oportuno referir que uma atividade experimental virtual como aquela que acabou de ser descrita, não substitui parcialmente ou por completo uma atividade experimental real (ou seja, com manipulação de objetos e instrumentos de medição). Há várias competências, nomeadamente do tipo processual, que só podem ser adquiridas com experiências reais, em que os alunos exploram os materiais didáticos com as suas próprias mãos. Assim, as atividades experimentais virtuais devem ser encaradas como complementares às reais, por promoverem a procura e medição de dados experimentais, o controlo de variáveis e por facilitarem o envolvimento e a predisposição dos alunos com os conteúdos a aprender, em total liberdade de escolha de local e tempo. Apenas em certos casos, como aqueles em que as atividades experimentais reais sejam perigosas para os alunos, ou em que a sua realização ou repetição envolva custos demasiado elevados para a escola, é que as atividades experimentais virtuais se revestem de um interesse superior relativamente ao trabalho experimental no laboratório.

Open Source Physics (OSP)

O projeto *Open Source Physics* (OSP, 2011) consiste numa coleção de simulações e recursos computacionais *online*, alojados no ComPADRE *National Science Digital Library* (NSDL) e tem por base o modelo bem sucedido do projeto *Physlets*, de desenvolvimento não-comercial de programas em código aberto. O OSP tem como objetivo reformular o ensino pré-universitário e universitário, fornecendo simulações e outros materiais curriculares que envolvam ativamente alunos e professores, no processo de ensino e aprendizagem da Física e da Astronomia, bem como da computação e da modelação computacional nessas áreas científicas. O local disponível na Web está baseado na integração da ComPADRE NSDL com (1) uma vasta coleção de simulações em Java para o ensino da Física e da Astronomia, (2) simulações criadas em *Easy Java* (EJS) com ferramentas de criação e modelação (Christian & Esquembre, 2007) e (3) biblioteca de códigos da OSP e manual de física computacional.

Os modelos computacionais existentes na página da OSP:

- **Auxiliam os alunos a visualizar conceitos abstratos.** No ensino tradicional, os estudantes aprendem os conceitos físicos por imagens estáticas e constroem modelos mentais incompletos ou incorretos, que dificultam uma aprendizagem mais profunda desses conceitos (Beichner, 1997). O benefício mais óbvio das simulações é que estas ajudam a operacionalizar os problemas em situações concretas.

- São interativos e requerem a participação dos alunos. Quando resolvem problemas, os estudantes frequentemente procuram a expressão matemática adequada, sem refletirem criticamente nos conceitos físicos envolvidos (Maloney, 1994). Com simulações apropriadamente construídas, há grandezas físicas (como a posição ou a velocidade) que não são fornecidas, tendo assim que ser medidas ou calculadas a partir dos dados recolhidos da simulação. Ao determinar a informação relevante para a resolução do problema proposto, os estudantes aprendem a reconhecer as bases conceptuais do problema (Christian & Belloni, 2003).
- Parecem-se mais com problemas reais. A resolução de problemas baseados em simulações e em problemas do mundo real, requer que os estudantes distingam a informação importante da acessória. As simulações, tal como as experiências reais, também permitem abordar os problemas da incerteza nas medições e consequentemente, a incerteza nos resultados obtidos. Assim, as simulações podem fazer a ligação entre a teoria (mundo ideal) e o mundo real.
- Usa múltiplas representações para mostrar a informação. A ideia de que os estudantes aprendem melhor quando vêm os mesmos conteúdos em contextos novos e diferentes, não é nova. As simulações podem conter movimento, mas também mostrar simultaneamente informação de maneiras diferentes, através de gráficos e tabelas cujos valores variam no tempo, dando assim a oportunidade de investigar fenómenos físicos em numerosos cenários alternativos.
- Podem melhorar a avaliação da aprendizagem dos estudantes. Os recursos baseados em simulações podem constituir ferramentas de avaliação melhores que os tradicionais testes escritos (Dancy & Beichner, 2006). A comparação das respostas dos estudantes em exercícios tradicionais, com as respostas em exercícios quase idênticos baseados em simulações, permite concluir que os exercícios baseados em simulações fornecem uma visão mais clara sobre o grau de conhecimento conceptual dos estudantes.

Esta interação entre cálculo, teoria e trabalho experimental, leva a uma nova visão e compreensão da ciência, que não pode ser adquirida com apenas uma abordagem; em muitos casos, o cálculo é, infelizmente, a primeira e por vezes a única forma usada para resolver problemas interessantes, em Física e noutras Ciências.

Atualmente há mais de 400 itens na coleção da OSP e muitos deles contêm documentos em variados suportes. Por exemplo, a "Montanha Russa" (*Roller Coaster* em inglês, facilmente encontrável numa busca em "conservação da energia" – *energy conservation*), contém múltiplos documentos incluindo três

simulações Java prontas a funcionar, para os ensinamentos pré-universitário e universitário, um plano de aula para o ensino secundário com uma folha de exploração para os estudantes, uma página com uma miniaplicação (*applet*) e o código fonte. Como acontece com todas as simulações criadas com EJS, os utilizadores podem examinar, modificar e recompilar o modelo, para redistribuição gratuita. O conteúdo é, portanto, útil para os professores que pretendam simulações para a sua prática letiva, para os que querem modificar simulações já existentes e também para aqueles que querem ir mais longe e pretendem estudar o algoritmo da simulação.

A simulação das Fases da Lua (*Moon Phases*), apresentada na figura 2, é um exemplo de como contextos reais podem ser explorados para uma aprendizagem conceptual efetiva. Neste modelo OSP, os estudantes são confrontados com perspetivas visuais de dois referenciais: um referencial inercial (imagem da esquerda) e um referencial local (imagem da direita). Durante a animação é possível alterar manualmente os parâmetros “órbita da lua” e “hora local” (pequeno ponto a verde sobre a Terra).

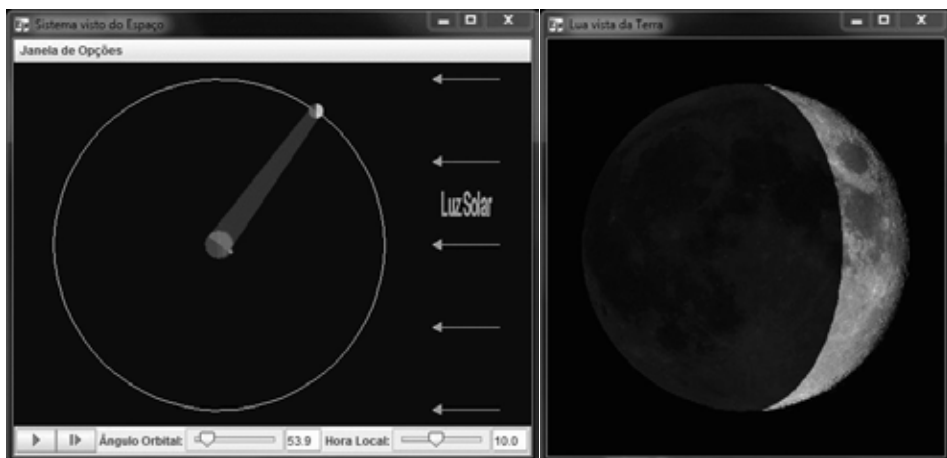


Figura 2: Simulação multilíngue das fases da lua, apresentada na versão portuguesa

Várias conceções alternativas dos estudantes do ensino básico, tais como “a fase da lua resulta da projeção da sombra da Terra sobre a superfície lunar”, ou “a lua aponta sempre a mesma face para a Terra porque não tem movimento de rotação”, podem ser discutidas e clarificadas com esta simulação, numa abordagem bastante interativa e motivadora para os estudantes.

Modelação de vídeo com o Tracker

A análise vídeo e a modelação são também parte integrante do projeto OSP. Destinam-se a confrontar as imagens ou vídeos reais com a caracterização física dos movimentos, sendo esta uma dificuldade bem conhecida entre os alunos. O Tracker é um programa de uso livre, criado por Douglas Brown (Brown, 2008), que permite a aquisição de dados a partir da gravação vídeo e correspondente análise. Ao contrário de outros programas congéneres, o Tracker permite a sobreposição de modelos baseados em equações diferenciais analíticas e dinâmicas numa gravação vídeo, um procedimento a que se dá o nome “modelação de vídeo”. Embora o programa original seja em inglês, ele está também disponível em versão multilíngue, incluindo o português.

A figura 3 mostra uma imagem de um vídeo sobre o lançamento oblíquo de um projétil, analisado com o Tracker. A trajetória parabólica da bola pode ser reconstruída a partir dos pontos experimentais assinalados no vídeo (pontos circulares, na janela da esquerda), enquanto gráficos simultâneos de $x(t)$ e de $y(t)$ são apresentados na janela superior da direita (o número máximo de gráficos é 3). Depois, o módulo *Data Tools* permite aos estudantes ajustar modelos físico-matemáticos aos dados experimentais, de modo a poderem interpretar o movimento da bola segundo as direções x e y , sendo o movimento global explicado, em fase posterior, pela utilização do princípio da sobreposição de movimentos independentes.

Há muitos exemplos em Física e Astronomia onde o Tracker pode ser usado como uma ferramenta de aprendizagem muito efetiva; uma vasta coleção de vídeos e respetiva análise, encontra-se disponível na página da OSP, bem como na página do Tracker (<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>).

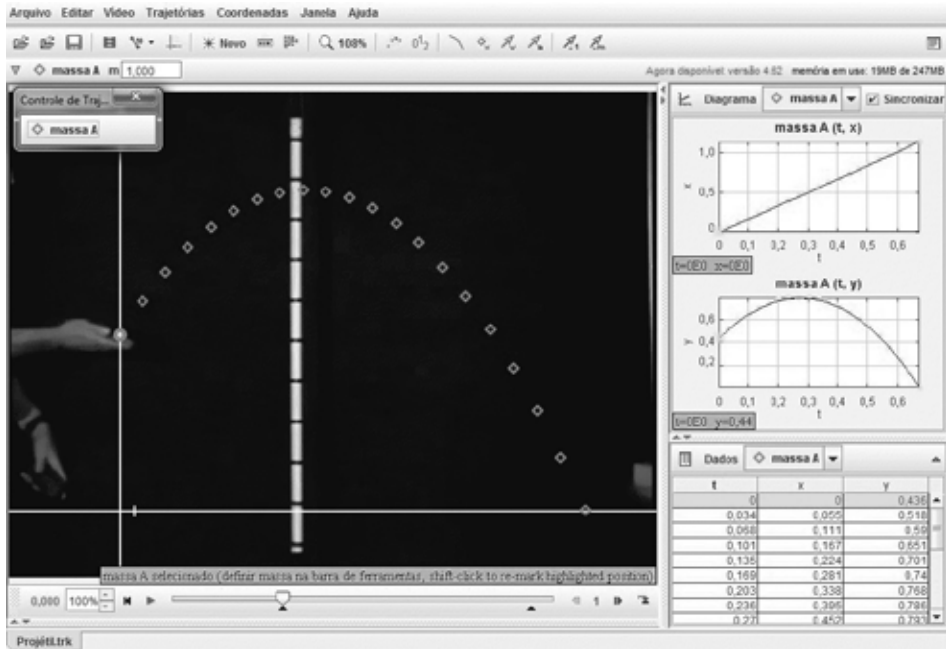


Figura 3: Análise vídeo com o Tracker, com interface em português

Conclusão

As *Physlets* (ou seja, as miniaaplicações que as constituem) foram recentemente recompiladas num único ficheiro de arquivo Java (ou ficheiro jar, como é mais conhecido), o qual é distribuído gratuitamente através da biblioteca digital CompADRE (OSP, 2011). Adicionalmente, a *Pearson Education*, a editora em língua inglesa dos livros de material didático baseado em *Physlets*, concordou em permitir que os professores usem *Physlets* das categorias “Ilustrações”, “Explorações” e “Problemas”, em páginas *Web* pessoais e para fins não comerciais, sem que para tal seja necessária permissão adicional, desde que a citação da autoria e direitos dos originais sejam explicitamente indicados. Este acordo permite uma divulgação mais fácil das *Physlets* através do portal de Física e Astronomia da NSDL, bem como do portal *online* em português. As simulações da OSP são distribuídas gratuitamente ao abrigo da GNU GP e não têm quaisquer restrições comerciais.

Apesar do interesse atual em usar material curricular da OSP em cursos avançados de Física, as estatísticas de acesso à página da OSP indicaram, no final de 2010, uma média mensal de 35.000 páginas visualizadas, 9.000 visitantes e 7.000 *downloads*; isto corresponde, entre 2009 e 2010, a um crescimento de 20 % na utilização dos recursos da OSP. O projeto ComPADRE também contém material curricular privado, informação pessoal, locais de discussão e páginas de grupos, bem como enciclopédias integradas.

Os dados relativos a recursos do ComPADRE estão disponíveis nos formatos *IEEE Learning Object Metadata (LOM)*, *standard Dublin Core* e *NSDL Dublin Core*. O uso destas bibliotecas de materiais educacionais padronizados aumenta o potencial de divulgação dos conteúdos da OSP a uma grande comunidade de países.

Um comentário final dirigido aos professores: embora o foco deste trabalho sejam as simulações (*Physlets* e recursos da OSP) e a modelação de vídeo, que pelas suas características são motivadoras e promovem a participação ativa dos estudantes (Redish, 2003), o ganho cognitivo nos estudantes de física só aumentará significativamente se os professores usarem uma metodologia interativa e adquirirem uma adequada preparação didática para o fazer. A formação de professores, contemplando a manipulação e exploração de materiais interativos, dentro e fora da sala de aula, é de grande importância para promover mudanças de um ensino tutorial (normalmente expositivo) para um ensino interativo, pois providencia as condições necessárias para uma melhor prática letiva nas escolas. Neste contexto, as universidades não se podem alhear deste desafio, dada a sua enorme responsabilidade na formação inicial e contínua dos professores, bem como da prática letiva no ensino superior.

Referências Bibliográficas

- Applets Java de Física* (2009). *Animações de Walter Fendt* – tradução Casa das Ciências [Disponível em <http://www.walter-fendt.de/ph14pt/>, consultado em 04/11/2013].
- Beichner, R. (1997). The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills, *American Journal of Physics*, 64 (10), 1272–1277.
- Belloni, M., Christian, W., Cox, A.J. (2006). *Physlet® Quantum Physics*, New Jersey: Prentice Hall's Series in Educational Innovation.
- Briosa, E., Carvalho, P.S. (2010). Ensinar para aprender mecânica newtoniana: uma abordagem inovadora, *XX Encontro Ibérico para o Ensino da Física*, Vila Real, 265-265.

- Briosa, E., Carvalho, P.S. (2011). Newton's second law – virtual experimental activity, *Proceedings of 16th International Workshop on Multimedia in Physics Teaching and Learning (MPTL'16)*, Ljubljana, 107-113.
- Brown, D. (2008). Video Modeling: Combining Dynamic Model Simulations with Traditional Video Analysis, *American Association of Physics Teachers (AAPT) Summer Meeting*, Edmonton [Disponível em <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>, consultado em 04/11/2013].
- Carvalho, P.S., Briosa E. (2011). *Physletspt* [Disponível em <http://www.fc.up.pt/physletspt>, consultado em 04/11/2013].
- Christian, W., Belloni, M. (2001). *Physlets: Teaching physics with interactive curricular material*, New Jersey: Prentice Hall's Series in Educational Innovation.
- Christian, W., Belloni, M. (2003). *Physlet® physics: Interactive illustrations, explorations, and problems for introductory physics*, New Jersey: Prentice Hall's Series in Educational Innovation.
- Christian, W., Esquembre, F. (2007). Modeling Physics with Easy Java Simulations, *The Physics Teacher*, 45 (10) 475-480.
- Dancy, M.H., Beichner, R. (2006). Impact of animation on assessment of conceptual understanding in physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2, 010104.
- Hake, R.R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 6, 64-74.
- Heck, A., Kadzierska, E., & Ellermeijer, T. (2009). Design and implementation of an integrated computer working environment. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 28, 147-161.
- Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory, *The Physics Teacher*, 30 (3), 141-158.
- Interactive Simulations (2011). University of Colorado at Boulder, versão em Português [Disponível em http://phet.colorado.edu/pt_BR/, consultado em 04/11/2013].
- Karplus, R. (1977). Science teaching and the development of reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 14, 169-175.
- Legall, A. (2007). Avimèca [Disponível em <http://alain.legall2.pagesperso-orange.fr/avimeca/avimeca.htm>, consultado em 04/11/2013].

- Maloney, D.P. (1994). Research on problem solving: Physics. In Gabel, D. (Ed) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York: MacMillan.
- Martin, J., Mitchell, J., Newell, T. (2003). Development of a concept inventory for fluid mechanics, *Proceedings of 33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Boulder, Vol. 1, T3D 23-28.
- Novak, G., Patterson, E., Gavrin, A., Christian, W. (1999). *Just-in-Time Teaching: Blending active learning with web technology*, New Jersey: Prentice Hall.
- OSP (2011). *Open Source Physics Collection on CompADRE* [Disponível em <http://www.compadre.org/OSP/>, consultado em 04/11/2013].
- Physlets (2007). *Web Physlet Project* [Disponível em <http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>, consultado em 04/11/2013].
- Redish, E.F. (2003). *Teaching Physics with the Physics Suite*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Teodoro, V., & Neves, R. (2011). Mathematical modelling in science and mathematics education. *Computer Physics Communications*, 182, 8-10.
- Vernier (2012). *Logger Pro 3* [Disponível em <http://www.vernier.com/products/software/lp/>, consultado em 04/11/2013].

Paulo Simeão Carvalho

Universidade do Porto, Faculdade de Ciências,
IFIMUP, 4169-007 Porto, Portugal.
psimeao@fc.up.pt

Wolfgang Christian

Davidson College, Department of Physics,
NC 28035-7133, Davidson, USA.
wochristian@ davidson.edu

Mario Belloni

Davidson College, Department of Physics,
NC 28035-7133, Davidson, USA.
mabelloni@ davidson.edu

Data de recepção: Junho de 2012

Data de avaliação: Outubro de 2012

Data de publicação: Novembro de 2013