

# **SIMULAÇÕES ON-LINE NO ENSINO DA FÍSICA E DA QUÍMICA**

***António José Martins***

*Escola Básica 2,3 Frei Estêvão Martins – Alcobaça  
e Centro de Física Computacional da Universidade de Coimbra,  
3004-516 Coimbra Portugal  
antónio\_j\_martins@clix.pt*

***Carlos Fiolhais***

*Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade de Coimbra  
e Centro de Física Computacional da Universidade de Coimbra  
3004-516 Coimbra Portugal  
tcarlos@teor.fis.uc.pt*

***João Paiva***

*Departamento de Química da Faculdade de Ciências da  
Universidade do Porto  
R. Campo Alegre, 687 – 4169-007 Porto Portugal  
e Centro de Física Computacional da Universidade de Coimbra  
jcpaiva@netcabo.pt*

## **Resumo**

O acentuado crescimento da Internet e, muito em particular, da *World Wide Web* possibilitou a transmissão de documentos contendo texto, som, imagem e vídeo. Com o aparecimento da linguagem de programação *Java*, pequenos programas multimédia passaram a ser adicionados aos documentos da *Web*. Assim, os professores e estudantes dispõem hoje de interessantes simulações que estão à sua livre disposição na *Web*. Estas simulações *on-line*, em particular as aplicações (*applets*) de *Java*, podem correr sem qualquer instalação no computador desde que o utilizador possua um *browser*. Discutimos, com vários exemplos, a utilização das simulações *on-line* no ensino e aprendizagem da Física e da Química, chamando a atenção para a utilidade de roteiros de exploração. Apresentamos os resultados de um estudo que realizámos com alunos portugueses do ensino básico (14 – 16 anos) que mostra as vantagens pedagógicas deste tipo de simulações, nomeadamente para actividades de auto-descoberta das leis do movimento.

## **Palavras-Chave**

Simulações *on-line*, *World Wide Web*, *Java applets*, Física e Química, aprendizagem

## **ON-LINE SIMULATIONS FOR PHYSICS AND CHEMISTRY TEACHING**

### **Abstract**

The important growth of the Internet and, in particular, of the World Wide Web has made possible to transmit documents containing text, sound and video. With the introduction of the Java language, small multimedia programs have been added to Web documents. Teachers and students may, therefore, take advantage of interesting simulations, which are freely available in the Web. These on-line simulations (Java applets) run without installation in the computer, only a browser being required. We discuss here the benefits of on-line simulations for Physics and Chemistry teaching and learning, calling attention to the value added by exploration guides. We present the results of a study we have done with middle school Portuguese students (14-16 years old), which shows the pedagogical utility of those simulations, namely for self-discovery activities on the laws of motion.

### **Keywords**

On-line simulations, World Wide Web, Java applets, Physics and Chemistry, learning

### **1- Introdução**

O professor de Ciências Físico-Químicas deve ajudar o aluno a adquirir e integrar conhecimentos científicos. Para que essa tarefa tenha sucesso, ele tem ao seu dispor um enorme manancial de recursos pedagógicos. Uma das tecnologias mais promissoras é a Internet, que permite o acesso a uma enorme quantidade de informação, mais ou menos organizada, nas mais variadas áreas e nas mais diversas formas.

Nos últimos anos assistiu-se na Internet ao aparecimento e aceitação da *World Web Wide* como um meio de transmitir informação num formato de hipermédia. Os documentos hipermédia começaram por associar textos, imagens, sons e vídeos. Mas o desenvolvimento da linguagem de programação *Java* veio abrir novos caminhos, uma vez que ela permite acrescentar aos documentos da *Web* pequenos programas independentes.

As repercussões pedagógicas são evidentes. É hoje possível criar pequenos programas interactivos em *Java* – em geral, simulações - que estimulam o interesse nos alunos e ajudam na compreensão de determinados conceitos científicos. Estas aplicações, chamadas *applets* de *Java* (*physlets*, caso os conteúdos sejam de Física; ver Belloni, 2001), colocadas em servidores da *Web*, podem "correr" sem qualquer instalação no computador. A única exigência é que o utilizador possua um *browser*, como o *Internet Explorer*.

Algumas das vantagens de usar simulações *Java* em páginas da *Web* são as seguintes:

- 1- Acessibilidade. Várias versões de *software* educacional dependem do *hardware* subjacente. O facto de as simulações em *Java* não necessitarem de qualquer instalação no computador torna-as mais acessíveis. O utilizador apenas tem que estar ligado à Internet e utilizar um *browser*.
- 2- Interacção. O *Java* utiliza um conjunto de meios gráficos, em inglês por *Graphical User Interface* (GUI), que permitem uma fácil interacção com o utilizador.
- 3- Operacionalidade. Estas simulações podem integrar vários formatos de média (texto, imagens, animação e som).

4- Transmissão em rede. Uma mesma simulação *on-line* pode ser utilizadas e partilhadas por vários utilizadores remotos em tempo real.

No entanto, as simulações *on-line* apresentam algumas desvantagens face às simulações tradicionais: por exemplo, o processamento de informação através das linhas telefónicas ou mesmo cabos ópticos é por vezes bastante lento, tornando o acesso às simulações *on-line* um pouco demorado; pelo mesmo motivo, as simulações *on-line* têm que ser muito simples apresentando um grafismo e uma interactividade inferiores às simulações *off-line*.

Neste trabalho, depois de darmos exemplos das simulações *on-line* no ensino e aprendizagem da Física e Química (alguns dos quais de nossa autoria), apresentamos um estudo de impacto desse tipo de materiais que realizámos numa escola portuguesa com alunos de Ciências Físico-Químicas do 9º ano (14-16 anos).

## 2- Exemplos de simulações *on-line*

A forma, por vezes pouco motivadora, de apresentar a ciência é uma das razões para que os alunos não se interessem muito por ela. Para fazer face a este problema, para além da necessidade de renovar os recursos educativos, são necessárias alterações metodológicas. Sem descuidar o necessário rigor, o professor deve procurar tornar o ensino atraente.

A utilização pedagógica das simulações *on-line* insere-se nesta perspectiva. Com estes recursos os alunos podem manipular interactivamente certos ambientes, assegurando em princípio uma aprendizagem mais eficiente.

É óbvio que, para utilizar simulações *on-line* no ensino, é necessário um apetrechamento mínimo das escolas: deverão existir suficientes computadores ligados à Internet, dotados de *software* adequado. Mas, em Portugal como noutros países, tem sido feito um esforço considerável nesse sentido.

As simulações *on-line* podem ser utilizadas tanto dentro como fora da sala de aula. Dentro da sala de aula destacam-se três formas de utilização:

- O professor recorre a um computador ligado a um projector. A simulação pode servir para sensibilizar, questionar ou transmitir conteúdos.
- Os alunos, divididos em grupos, utilizam vários computadores. Cada grupo trabalha de forma independente, de acordo com um plano comum traçado pelo professor (para isso é necessário um roteiro de exploração). Esta é uma forma interessante de trabalhar, por favorecer o trabalho colaborativo, embora possa haver problemas de acompanhamento e coordenação dos diferentes grupos.
- Cada aluno trabalha com o seu computador.

Fora da sala de aula, as simulações *on-line*, tal como outro *software* educativo, podem ser utilizadas pelos alunos em espaços de estudo, nas bibliotecas das escolas, em suas casas ou noutros locais para:

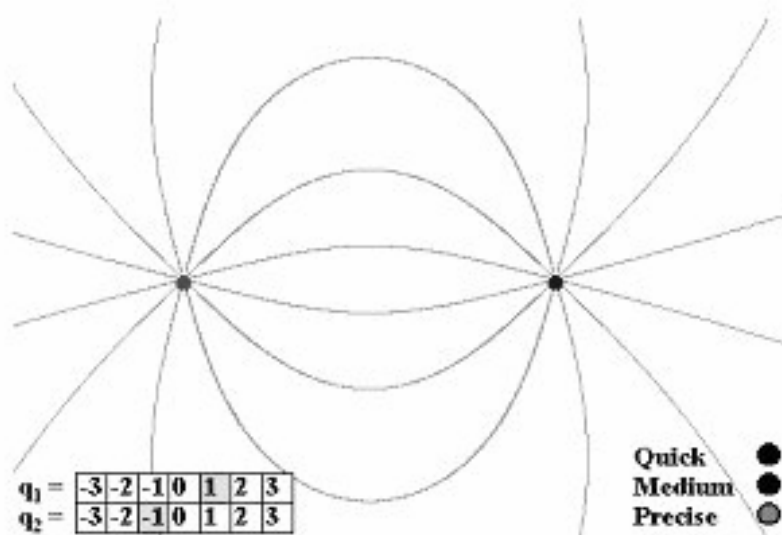
- Estudar determinados tópicos e/ou esclarecer dúvidas;
- Verificar algumas equações ou expressões matemáticas;
- Verificar as soluções obtidas na resolução de exercícios.

As simulações devem ser utilizadas de forma a desenvolver um estilo de trabalho que proporcione uma participação activa dos alunos. Mas em que contexto podem elas ser utilizadas? Apoiando-nos nas opiniões de Pankaj Kamthan (1999) e de Mario Belloni e Wolfgang Christian (2001), consideramos três modos de aplicação das simulações *on-line*:

- Introdução de novos conteúdos;

- Relacionamento e aplicação de conhecimentos;
- Avaliação de conhecimentos.

As simulações usadas para introduzir novos conteúdos são geralmente muito simples, não permitindo grande interactividade. Como exemplo, sugerimos a simulação apresentada na figura 1 para introduzir a noção de linhas de campo (linhas que descrevem a direcção e o sentido de um campo de forças; ver Bonham, Risley & Christian, 1999).

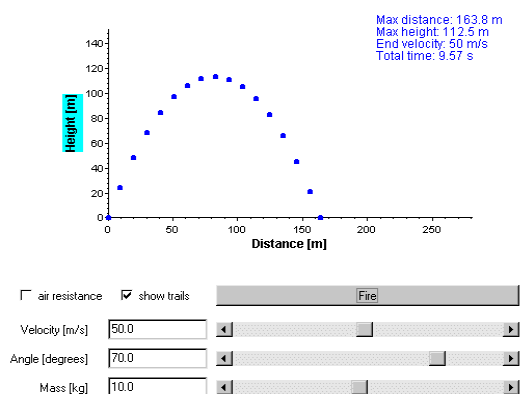


**Figura 1** – Simulação criada por Gerd Kortemeyer, da Universidade do Estado de Michigan, EUA, e que se encontra em: <http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/kap18/RR447app.htm>. O valor das duas cargas pode ser mudado assim como o número de linhas de força.

Esta simulação permite visualizar as linhas do campo eléctrico criado por vários sistemas de cargas, ajudando os alunos a compreender melhor esse conceito. De facto, o campo é uma noção algo abstracta, para cujo ensino não há muitos recursos experimentais.

Outras simulações permitem ao utilizador aplicar equações que descrevem determinados fenómenos físicos. Para ilustrar este caso, recorreremos a uma simulação que permite estudar as equações associadas ao movimento de projecteis (figura 2).

### Projectile Motion

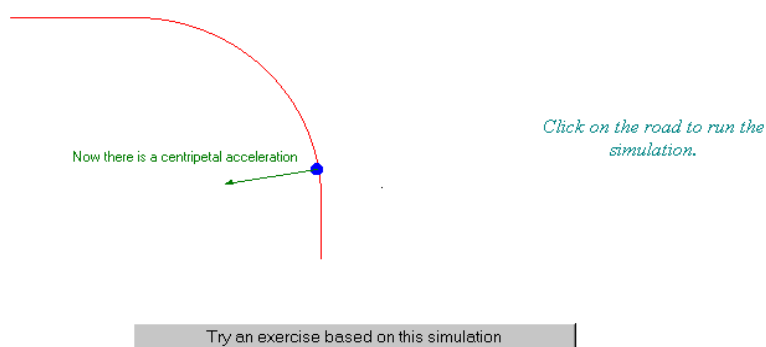


**Figura 2** – Simulação criada por Drew Dolgert, da Universidade da Virgínia, EUA, e que se encontra em:

[http://www.phys.virginia.edu/classes/109N/more\\_stuff/Applets/ProjectileMotion/jarapplet.html](http://www.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/ProjectileMotion/jarapplet.html). A parábola corresponde ao movimento de um projétil lançado da origem, não havendo resistência do ar.

Neste exemplo, pode controlar-se o valor da velocidade inicial e o ângulo que esta faz com a horizontal. Os alunos podem "experimentar" a equação dos projéteis, determinando o alcance e a altura máxima atingidos por um projétil lançado com uma certa velocidade (desprezando a resistência do ar). Os alunos podem também "experimentar" o caso em que há resistência do ar, para o qual não há solução analítica. Para que os alunos não se percam nessas actividades, eles devem seguir um roteiro.

O terceiro modo de aplicação refere-se à avaliação dos conhecimentos adquiridos. De facto as simulações podem ser bons elementos de avaliação se forem acompanhadas por guias de exploração adequados a esse fim. Algumas simulações têm anexas um conjunto de questões, cuja resposta pode revelar o estágio de aprendizagem dos alunos. Apresentamos na figura 3 uma simulação sobre o movimento circular, acompanhada de exercícios.

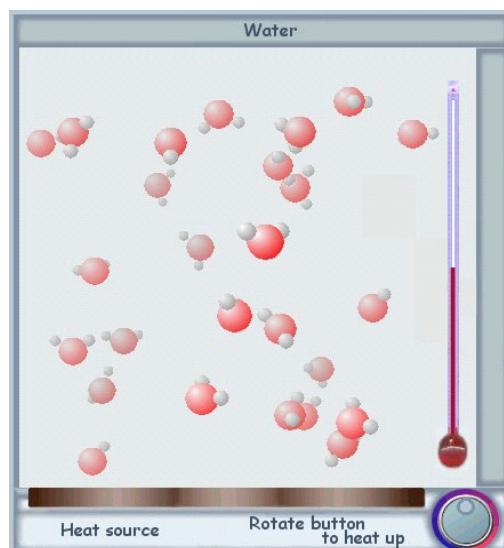


**Figura 3** – Simulação, criada por Ian Littlewood do Departamento de Física da Universidade da Califórnia, em Turlock, EUA, e que se encontra em: <http://plabpc.csustan.edu/general/tutorials/CircularMotion/CentripetalAcceleration.htm>. Repare-se na barra correspondente a um exercício.

Carregando na tecla onde está escrito "*Try an exercise based on this simulation*" abre-se uma janela com questões a que o aluno deve tentar responder. Essas questões podem servir para avaliação pelo docente ou pelos próprios alunos.

### Algumas simulações desenvolvidas por nós

Os conceitos de calor e temperatura costumam provocar problemas conceptuais nos alunos (Thomaz, Valente & Antunes, 1994). Para ajudar os alunos do ensino básico na percepção destes conceitos, criámos uma simulação *on-line* (figura 4), que se encontra num espaço de simulações moleculares para o ensino da Física e da Química denominado "Molecularium" (Trindade, Paiva & Fiolhais, 2001). Este site está incluído no portal português de ciência e cultura científica "Mocho", que pode ser visto em [www.mocho.pt](http://www.mocho.pt) (Paiva, Costa & Fiolhais, 2002).



Esta simulação permite observar moléculas de água em movimento. Os alunos podem fornecer energia ao sistema sob a forma de calor, bastando para isso rodar o botão do canto inferior direito. Verificam então que a temperatura aumenta quando se fornece calor. E vêem que o grau de agitação das moléculas está associado à variação de temperatura. Por outro lado, colocando o rato sobre as moléculas de água, os alunos podem também agitá-las e verificar no termómetro o aumento da temperatura. Existem duas simulações semelhantes, mas que usam radiação microondas e radiação infravermelha, onde se verificam excitações rotacional e vibracional das moléculas.

Como aplicações desta simulação, apresentamos duas sugestões de exploração dirigidas a alunos do ensino básico (13 – 16 anos).

➤ Introduzir o conceito de temperatura

Com esta simulação o professor pode tornar o conceito de temperatura mais claro, uma vez que é possível mostrar a relação entre energia cinética das moléculas e temperatura. Quanto maior for a agitação das moléculas maior será a temperatura da água.

➤ Resolver exercícios

Para consolidar algumas ideias, os alunos podem explorar a simulação em pequenos grupos de trabalho, para em seguida responderem a algumas questões. Os alunos podem assim adquirir melhor a noção de que calor e temperatura são conceitos distintos embora relacionados. Apresentamos duas possíveis questões:

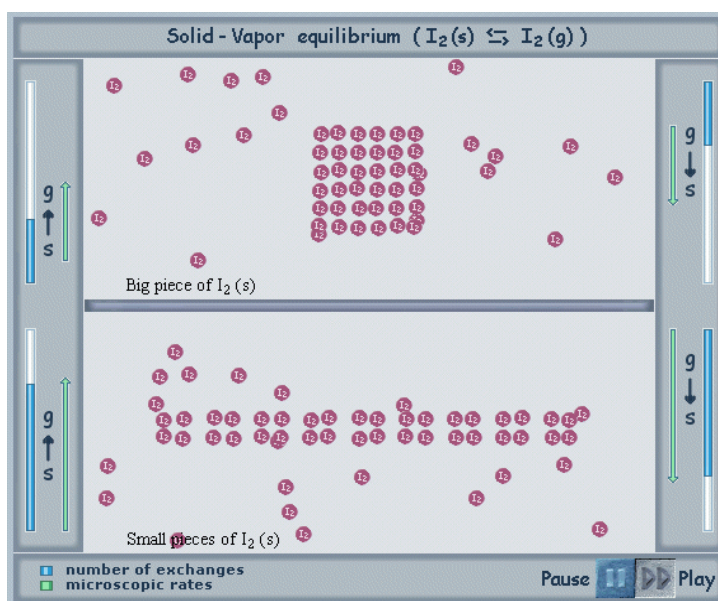
- Preencha correctamente os espaços em branco das frases seguintes:  
*Quando se \_\_\_\_\_ um corpo, \_\_\_\_\_ a agitação dos seus corpúsculos.  
 Quanto \_\_\_\_\_ for a agitação térmica dos corpúsculos que constituem um corpo \_\_\_\_\_ será a \_\_\_\_\_ do corpo.*
- Explicar por palavras próprias os conceitos de calor e temperatura.

Ainda no "Molecularium" pode observar-se uma simulação mais avançada, que ajuda os alunos de Química do 12º ano (nível pré-universitário em Portugal) a compreender como o estado de divisão de um reagente sólido afecta o equilíbrio (figura 5).

Mais moléculas de iodo passam da fase de vapor para a fase sólida, quando a amostra está subdividida do que quando ela se encontra num único bloco maior (em

cima). De facto, as moléculas de iodo do pedaço grande que se situam no interior não têm contacto com a fase de vapor (Paiva & Gil, 2001).

Também se podem fazer vários exercícios no contexto desta simulação.



**Figura 5** – Simulação criada por João Paiva, do Centro de Física Computacional da Universidade de Coimbra, e Victor Gil e que se encontra em:

<http://www.molecularium.net/pt/solidovapor>. Quando há maior divisão da amostra sólida, há mais permuta de moléculas.

### 3- Estudo de impacto de simulações sobre movimento

Numa tentativa de testar quantitativamente o impacto das simulações *on-line* no ensino da Física (em particular, da Mecânica), realizámos um estudo na Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Dr. Pedrosa Veríssimo – Paião – Figueira da Foz (centro de Portugal), no ano lectivo de 2001/2002. É sabido que os alunos se confrontam com problemas conceptuais quando lhes é apresentada uma descrição física dos movimentos. Neste estudo procurámos estudar a questão seguinte:

Qual é a mais valia que as simulações *on-line* introduzem na mudança conceptual dos alunos, quando eles iniciam o estudo dos movimentos?

#### **Design da investigação**

Escolhemos um plano quase experimental devido à impossibilidade de um controlo experimental total. Uma das limitações foi a escolha dos sujeitos que constituíram os grupos não poder ser feita de forma aleatória, uma vez que não foi possível qualquer tipo de divisão das turmas da escola.

O nosso plano é apresentado no seguinte diagrama:

O<sub>1</sub> X O<sub>2</sub>  
-----  
O<sub>3</sub> O<sub>4</sub>

O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e O<sub>4</sub>: Observações através de inquéritos.

X: Uso de simulações *on-line*.

## Definição dos grupos

O estudo envolveu 59 alunos do 9º ano de Ciências Físico-Químicas inseridos em três turmas intactas, com idades compreendidas entre os 14 e os 16 anos. O grupo experimental foi constituído por uma turma de 21 alunos, da responsabilidade de um dos autores (António José Martins) e o grupo de controlo foi constituído por duas turmas num total de 38 alunos, da responsabilidade de outro professor.

## Procedimento

Desenvolvemos o nosso estudo em três fases. Na primeira fase, e um mês antes do ensino formal, foi distribuído aos dois grupos um questionário (pré-teste), que permitiu identificar algumas concepções prévias dos alunos sobre movimento ( $O_1$  e  $O_3$ ). A primeira questão identificou concepções erradas associadas à queda de graves, a terceira questão identificou concepções erradas ligadas à aceleração e as segunda e quarta questões identificaram concepções erradas relativamente à relação entre força e movimento.

Na segunda fase, adoptou-se na sala de aula e no grupo experimental um ensino baseado numa perspectiva de descoberta pelos alunos a partir do reconhecimento dos seus erros, baseada na visualização de simulações *on-line* ( $X$ ); às turmas que constituem o grupo de controlo foi leccionado o mesmo conteúdo programático, mas utilizando uma abordagem tradicional.

Na terceira fase, foi distribuído um novo questionário (pós-teste), para extrair conclusões sobre a eficácia dos modelos de ensino utilizados ( $O_2$  e  $O_4$ ).

Algumas das questões usadas nos inquéritos foram retiradas de um trabalho de Ibrahim Halloun e David Hestenes, professores do Departamento de Física da Universidade Estadual do Arizona, Estados Unidos da América, sobre conceitos de senso comum relativos ao movimento (Halloun & Hestenes, 1985) e de um trabalho de Lillian McDermott, Mark Rosenquist e Emily Vanzee, professores do Departamento de Física da Universidade de Washington, em Seattle, sobre as dificuldades dos alunos na análise de gráficos de cinemática (McDermott, Rosenquist & Vanzee, 1987).

## Descrição do modelo de ensino

Procurámos seguir um modelo de ensino inovador no grupo experimental para leccionar a unidade temática do 9º ano de Física, intitulada "Transportes e Segurança". Na planificação e concretização das aulas utilizámos sempre simulações *on-line*, como elemento de apoio didáctico.

A selecção das estratégias didácticas passou por:

- 1- Identificação das ideias erradas dos alunos.
- 2- Consciencialização dos alunos para os seus esquemas conceptuais errados, criando neles insatisfação face às suas ideias.
- 3- Introdução dos novos conceitos recorrendo a simulações *on-line* (e, nalguns casos, outros materiais).
- 4- Proporcionar aos alunos oportunidades de usarem as novas ideias para adquirirem confiança nelas e neles próprios, recorrendo a outras simulações *on-line*.



Os pontos 1 e 2 realizaram-se tanto quanto possível da mesma maneira nos dois grupos, enquanto para os pontos 3 e 4 houve uma clara distinção entre o grupo experimental e o grupo de controlo. O uso das simulações foi convenientemente guiado.

As simulações *on-line* que foram usadas no nosso modelo de ensino podem ser encontradas no portal de ciência e cultura científica "Mocho" ([www.mocho.pt](http://www.mocho.pt)), na secção dedicada às simulações de Física:

- [www.physics.uoguelph.ca/Fendt\\_app/phe/phe.htm](http://www.physics.uoguelph.ca/Fendt_app/phe/phe.htm) (de Walter Fendt, professor numa escola secundária de Augsburg, Alemanha)

- [www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/Introduction/indiceApplets/indice/indice-cinematica.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/Introduction/indiceApplets/indice/indice-cinematica.htm) (da autoria de Angel Garcia, do Departamento de Física Aplicada da Universidade do País Basco, Espanha).

- [plabpc.csustan.edu/general/tutorials/LinearMotion/Drive/Drive.htm](http://plabpc.csustan.edu/general/tutorials/LinearMotion/Drive/Drive.htm) (de Ion Littlewood, do Departamento de Física da Universidade da Califórnia, em Tucson).

### Apresentação dos resultados

Após uma análise das respostas dadas pelos alunos nos pré e pós-testes identificámos várias concepções erradas sobre o movimento. Essas concepções estão apresentadas na tabela 4.3.

Concepções dos alunos	Percentagens de alunos			
	Grupo experimental		Grupo de Controlo	
	Pré-teste 21 alunos	Pós-teste 21 alunos	Pré-teste 38 alunos	Pós-teste 38 alunos
Na queda de graves a velocidade é proporcional ao peso do corpo.	80,9	9,5	84,2	71,1
Quando um corpo se move existe sempre uma força no sentido do movimento.	95,2	33,3	79	65,8
No momento em que um corpo em ascensão vertical atinge a altura máxima deixam de actuar forças sobre ele.	71,4	28,5	68,4	10,5
Quando dois corpos se movem durante o mesmo intervalo de tempo, o que percorre a distância maior é o que tem maior aceleração.	76,2	38,1	84,2	71,1
Um corpo em movimento por acção de uma força diminui de velocidade a partir do momento em que essa força deixa de actuar.	52,4	33,3	42,1	55,3

**Tabela 4.3** - Concepções erradas identificadas nos grupos experimental e de controlo. Os valores registados indicam a percentagem de alunos que apresentam a concepção em causa.

Os resultados da tabela revelam que, antes do ensino formal, a maioria dos alunos do grupo experimental e de controlo evidenciaram um conjunto semelhante de "concepções alternativas" que estão identificadas na literatura (Acevedo-Diaz, 1989) (Trowbridge & McDermott, 1981) (Tao, 1997).

Após o ensino formal, os grupos experimental e de controlo revelaram um comportamento diferenciado no que diz respeito à evolução das suas concepções. Assim, no grupo experimental, que usou simulações *on-line*, diminuiu acentuadamente

a percentagem de respostas que decorrem de concepções erradas, ao passo que no grupo de controlo essa diminuição não foi tão acentuada ou até nem se verificou. O modelo de ensino experimental parece, portanto, ser eficaz na alteração de ideias dos alunos sobre movimento.

### **Análise dos resultados**

Os resultados revelaram uma melhoria relativamente à abordagem tradicional, que pouco parece afectar as ideias intuitivas dos alunos. Um facto interessante é que, no grupo de controlo, a ideia de que um corpo em movimento por acção de uma força diminui de velocidade a partir do momento em que essa força deixa de actuar aparece reforçada após o ensino tradicional.

A utilização de simulações *on-line* foi uma estratégia muito valorizada pelos alunos. Este facto talvez esteja relacionado com o tipo de trabalho utilizado, nomeadamente a tentativa feita no sentido de os alunos reelaborarem as suas ideias perante uma simulação adequada. Para além de motivar e promover a compreensão de conceitos científicos, o recurso a simulações *on-line* procurou desenvolver atitudes científicas ao envolver os alunos em pequenos trabalhos de pesquisa.

Embora as nossas conclusões possam não ser generalizáveis, elas reforçam a nossa convicção de que se podem conseguir melhorias na aprendizagem utilizando estratégias baseadas em simulações computacionais.

Tendo como base de trabalho o nosso estudo, sugerimos que sejam feitas outras investigações sobre a eficácia das simulações *on-line* na aprendizagem. Amostras mais representativas e uma maior aleatoriedade na distribuição dos sujeitos pelos grupos são condições necessárias para que futuras investigações sejam mais fiáveis e generalizáveis.

### **Considerações finais**

As simulações *on-line* são recursos pedagógicos que podem aumentar a atractividade das aulas estimulando a aprendizagem dos alunos. Com elas é possível criar ambientes em que os alunos aprendem fazendo, em vez de aprender simplesmente ouvindo. Por conseguinte, a compreensão e o aproveitamento escolar poderão melhorar significativamente. Note-se, porém, o papel essencial do professor ao apresentar as simulações e ao solicitar e corrigir trabalho explicitado em roteiros de exploração.

As simulações (*on-line*, ou outras) não devem ser usadas para substituir trabalho experimental. Devem antes servir onde, por uma razão ou outra, o trabalho experimental não consegue recurso experimental útil (um exemplo é o estudo das linhas de força em electrostática). Por outro lado, estas simulações são simplesmente recursos a adicionar no ensino e aprendizagem, aliados a outros recursos já existentes, como livros, vídeos, etc., não podendo ser vistas como uma solução milagrosa dos múltiplos problemas pedagógicos que existem nas escolas.

Em conclusão: no grande "oceano" de informação em que vivemos hoje mergulhados, as simulações *on-line* constituem valiosos recursos pedagógicos que urge aproveitar para que as Ciências Físico-Químicas sejam mais bem compreendidas por cada vez mais gente.

### **Bibliografia**

ACEVEDO-DIAZ, J., Comprensión newtoniana de la caída de cuerpos. Un estudio de su evolución en el bachillerato, Enseñanza de las Ciencias 7(3), 241-246 (1989)

BELLONI, Mario e Christian, Wolfgang, Physlets: Teaching physics with interactive curricular material, *Educational Innovation* (2001)

BONHAM, Scott W., Risley, John S. e Christian, Wolfgang, Using Physlets to Teach Electrostatics, *The Physics Teacher*, Vol. 37, 276-280 May (1999)

HALLOUN, Ibrahim e Hestenes, David, The initial knowledge state of college Physics students, *American Journal of Physics* 53 (11): 1043-1055 (1985)

KAMTHAN, Pankaj, Java applets in education, *Internet Related Technologies*, (1999)

MCDERMOTT, Lillian C., Rosenquist, Mark L. e Vanzee, Emily H., Student difficulties in connecting graphs and Physics: examples from kinematics, *American Journal of Physics* 55(6), 503-513 (1987)

PAIVA, J. C., Alves da Costa, L. e Fiolhais, C., “MOCHO”: Um Portal de Ciência e Cultura Científica. *IE-2002 – Congresso Iberoamericano de Informática Educativa*, Vigo, Espanha (2002)

PAIVA J. C. e Gil, V. M. S., The state of division of solids and chemical equilibria, *Journal of Chemical Education* 78, 222-223 (2001)

TAO, Ping-Kee, Confronting students' alternative conceptions in mechanics with the force and motion microworld, *Computers in Physics*, Vol. 11, 189-207 (1997)

THOMAZ, Marília, Malaquias, M., Valente, O. e Antunes, M. J., Uma tentativa para ultrapassar concepções alternativas sobre calor e temperatura, *Gazeta de Física*, Vol. 17, 10-16 (1994)

TRINDADE, Jorge, Paiva, J. C. e Fiolhais, C., Visualizing molecules: on-line simulations and virtual reality. *Europhysics News*, Vol 32, 14-15 (2001).

TROWBRIDGE, David E. e McDermott, Lillian C., Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension, *American Journal of Physics* 49(3), 242-253 (1981)