

MODELAÇÃO NO ENSINO DA FÍSICA: SEIS IDEIAS BÁSICAS

Vitor Duarte Teodoro [vdt@mail.fct.unl.pt]

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Nesta conferência vou ilustrar algumas das ideias básicas que enquadram a utilização de ferramentas computacionais de modelação no ensino da física, no ensino secundário e no ensino superior.

Começo por esclarecer que não faz qualquer sentido discutir se se deve ou não utilizar computadores no ensino da física. Os computadores são hoje em dia uma ferramenta ubíqua em toda a actividade científica e, por isso, o seu uso deve ser encarado como essencial no processo de aprendizagem da ciência. Em física, os computadores são utilizados para medir, para analisar dados, para construir e explorar modelos matemáticos, para visualizar valores de grandezas, para simular, para comunicar, para pesquisar informação, para ler os mais variados tipos de documentação, etc. É precisamente com essas mesmas funções que devem ser utilizados no ensino introdutório da física¹. Neste texto vou referir-me essencialmente à utilização do computador como ferramenta de modelação².

Não é fácil esclarecer o que é uma ferramenta de modelação! Qualquer dos seguintes tipos de software pode ser considerado como ferramenta de modelação computacional:

- (a) linguagem de programação (Basic, LOGO, Java ou C++, por exemplo);
- (b) folha de cálculo (e.g., *Excel*);
- (c) programa de análise de vídeos (e.g. *VideoPoint*, <http://www.lsw.com/videopoint>);
- (d) sistema de matemática computacional (e.g., *Mathcad*, <http://www.mathsoft.com>; *Mathematica*, <http://www.wolfram.com>; *Matlab*, <http://www.mathworks.com>);
- (e) sistema de simulação (e.g., *Interactive Physics*, <http://www.interactivephysics.com>; *MSC software*, <http://www.mscsoftware.com>; *Extend*; <http://www.imaginedthatinc.com>);
- (f) sistema de aquisição de dados (e.g., *DataStudio*, <http://www.pasco.com/datastudio>; *Logger Pro*, <http://www.vernier.com/soft/lp.html>);
- (g) software para “systems thinking” (e.g., *Stella*, <http://www.hps-inc.com>; *PowerSim*, <http://www.powersim.com>);
- (h) software de modelação específico para ensino e aprendizagem (e.g., *Modellus*, <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus>; *Easy Java Simulations*, <http://fem.um.es/Ejs>).

¹ Claro que também pode ser utilizados como “máquinas de ensinar”, com recursos “multimédia”, com avaliação e tutoria. Mas essa utilização é relativamente marginal, não específica do ensino da física.

² Em português do Brasil, usa-se “modelagem (inglês “modelling”, “modeling” nos EUA).

Como se pode ver por esta lista, não exaustiva, há uma enorme variedade de ferramentas para modelação computacional. Em geral, as ferramentas mais poderosas são de mais complexa utilização e a viabilidade da sua utilização no ensino introdutório da física é reduzida, devido ao que é necessário aprender para a poder utilizar satisfatoriamente. Nos exemplos que se seguem utilizo o *Modellus*, disponível gratuitamente na Internet para uso não comercial (<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus>).

O *Modellus* é um software baseado na ideia de que o modo como se pensa num modelo matemático com papel e lápis deve estar tão próximo quanto possível do modo como se pensa no modelo com o computador. O *Modellus* permite a exploração de modelos baseados em funções, em equações diferenciais ordinárias (resolvidas numericamente, com passo fixo), em equações às diferenças finitas e em iterações. O motor de cálculo é também capaz de determinar derivadas simbolicamente. O utilizador pode construir “animações”, gráficos e tabelas com base nas grandezas do modelo. É também possível analisar vídeos ou qualquer imagem, fazendo medições e obtendo valores que permitem construir modelos matemáticos.

Vejamos então seis ideias básicas que enquadram a utilização de ferramentas computacionais de modelação no ensino introdutório da física, no ensino secundário e no ensino superior.

A primeira ideia básica é inspirada num texto autobiográfico de Richard Feynman³:

(...) Tínhamos em casa a *Encyclopaedia Britannica*, que meu pai me lia comigo sentado no seu colo. Suponhamos, por exemplo, que me lia qualquer coisa sobre os dinossauros. Referindo-se ao *Tyrannosaurus Rex*, vinha algo assim: este dinossauro tem sete metros e meio de altura e, a sua cabeça, dois metros de largura.

Então o meu pai interrompia a leitura e comentava: ora vejamos o que quer isto dizer. Significa que, se ele estivesse ali no jardim, teria altura suficiente para enfiar a cabeça aqui por esta janela. [Estávamos no segundo andar.] Mas a sua cabeça seria larga de mais para caber na janela. Tudo o que me lia, procurava depois traduzi-lo o melhor possível para algo de concreto.

Traduzir algo não tangível para uma coisa concreta é uma tarefa que todos nós, professores, procuramos fazer, nem sempre com a frequência devida. A física estuda o mundo à nossa volta mas as ideias e conceitos que utiliza para o “ver” são muito sofisticadas, resultantes de centenas ou milhares de anos de evolução e refinamento. Conceitos tão importantes como força, energia, velocidade, calor, temperatura, radiação, etc., têm um significado bem preciso em física mas correspondem a palavras igualmente utilizadas na linguagem do dia a dia, com um elevado grau de imprecisão. Ser capaz de concretizar essas ideias, com rigor científico em contextos familiares ao aluno, é uma “arte” do professor (ou do pai!) experiente e imaginativo. O pai de Feynman não se limitava a dizer que o *Tyrannosaurus* tinha “sete metros e meio de altura”! Ilustrava esse facto com algo concreto, familiar.

³ Feynman, R. P., & Leighton, R. (1988). *What do YOU care what other people think? : further adventures of a curious character* (1st ed.). New York: Norton.

De modo semelhante, um software de modelação permite ilustrar como uma equação é algo de concreto, algo que descreve um determinado acontecimento, que o aluno pode facilmente reproduzir. Um exemplo simples está representado na Figura 1, que mostra como “funciona” a energia, uma grandeza definida a partir de um princípio de conservação. Na janela *Model* encontram-se as funções que descrevem o lançamento vertical de uma bola, considerada como uma partícula, sendo desprezável a resistência do ar. Na janela “Animation 1” representa-se o movimento da bola, com trajectória e registo estroboscópico de 0.01 s em 0.01 s, bem como os gráficos das energias cinética, potencial e mecânica, durante a subida e a descida. Com um software de modelação, estudar a conservação da energia deixa de ser algo que apenas se resolve numa folha de papel, com algumas equações mais ou menos abstractas, para passar a ser algo que se “faz”, que se “experimenta”.

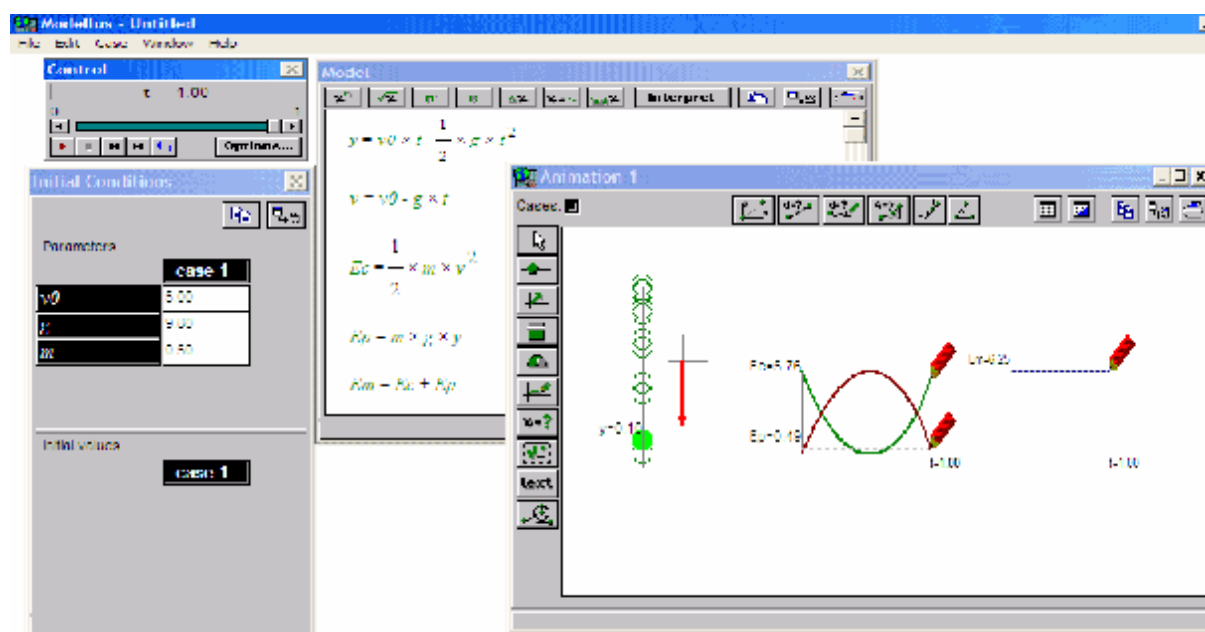


Figura 1 Energia cinética, energia potencial e energia mecânica na subida e descida de uma bola, quando a resistência do ar é desprezável.

Estamos a chegar à segunda ideia básica, igualmente inspirada no pensamento de Feynman. Conta-se que, quando morreu, estava escrito no quadro negro da sua sala de trabalho: “what I can not create, I can not understand”. Quer dizer: a compreensão é um processo performativo (D. Perkins fala de “performance understanding”⁴). Utilizando uma metáfora da física, podemos dizer que o conhecimento está mais relacionado com a “energia cinética” do que com a “energia potencial”: o conhecimento manifesta-se pela “acção”, pela “externalização”, não pelo “potencial”. Num processo de modelação computacional, as ideias abstractas necessitam de passar a ideias “concreto-abstractas” para poderem “funcionar”. São abstractas devido à sua própria natureza (como diz Feynman, “eu não sei o que é a energia”!) e são concretas porque necessitam de ser “postas em acção” através de equações, de animações, de gráficos, etc.

⁴ Perkins, D. (1993). Teaching for understanding. *American Educator*, 17(3), 8, 28-35. Disponível em <http://www.exploratorium.edu/IFI/resources/workshops/teachingforunderstanding.html>.

A modelação computacional é, pois, um processo de “pôr conhecimento em acção”. O sucesso do conhecimento é determinado pelo resultado da acção. Construir um modelo que illustre a conservação da energia mecânica com o *Modellus* consiste, assim, em construir algo que deve funcionar e fornecer resultados coerentes com as ideias de partida. O confronto entre os resultados obtidos com a construção do modelo e as ideias e os factos é, no essencial, uma ilustração do modo como funciona a ciência e do papel da linguagem matemática na construção do conhecimento físico.

A terceira ideia básica está implícita no que acabei de escrever: é necessário reaproximar o ensino da física do ensino da matemática. Os alunos estudam muitas coisas comuns nestas duas disciplinas sem se aperceberem de quão comuns são! Nos últimos anos, uma corrente de especialistas em educação matemática⁵, tem feito um enorme esforço para aproximar a matemática do mundo real e, em particular, da física. É tempo dos especialistas em educação em física fazerem um esforço semelhante, familiarizando-se com essas novas ideias sobre o ensino da matemática, estabelecendo processos de ensino em colaboração com os professores de matemática.

As ferramentas que nos permitem conhecer o mundo físico incluem, evidentemente, instrumentos de medida. Mas incluem também ferramentas não tangíveis, como uma linguagem rigorosa, quer verbal quer quantitativa, o conceito de modelo e de teoria, a definição inequívoca de grandezas físicas, e o auto-reconhecimento das limitações do conhecimento físico. A história da ciência e da tecnologia ilustra bem quão importante é o papel destas “ferramentas cognitivas” não tangíveis. A quarta ideia básica que fundamenta a utilização da modelação no ensino da física é precisamente a ideia de que a construção do conhecimento físico está dependente de “ferramentas cognitivas” não tangíveis, como a linguagem, e de “ferramentas cognitivas computacionais” que permitem suportar processos de pensamento centrados no significado das coisas em detrimento de cálculos repetidos.

Um dos muitos exemplos que ilustram o funcionamento do *Modellus* como ferramenta cognitiva está representado na Figura 2. Uma série de partículas está a vibrar (umas longitudinalmente, outras transversalmente). O significado cognitivo de conceitos como “oscilação”, “onda”, “frequência”, “período”, “comprimento de onda”, etc., pode ser construído e explorado pelo aluno, permitindo-lhe a familiarização com dois dos mais importantes modelos físicos, o de oscilação e o de onda. A aprendizagem faz-se “usando ferramentas”, actuando sobre as representações do mundo físico.

⁵ Ver, por exemplo, <http://www.nctm.org/standards/introducing.htm> ou [http://www.educ.fc.ul.pt/docentes/jponte/docs-pt/92-Ponte\(Educ&Mat\).doc](http://www.educ.fc.ul.pt/docentes/jponte/docs-pt/92-Ponte(Educ&Mat).doc) .

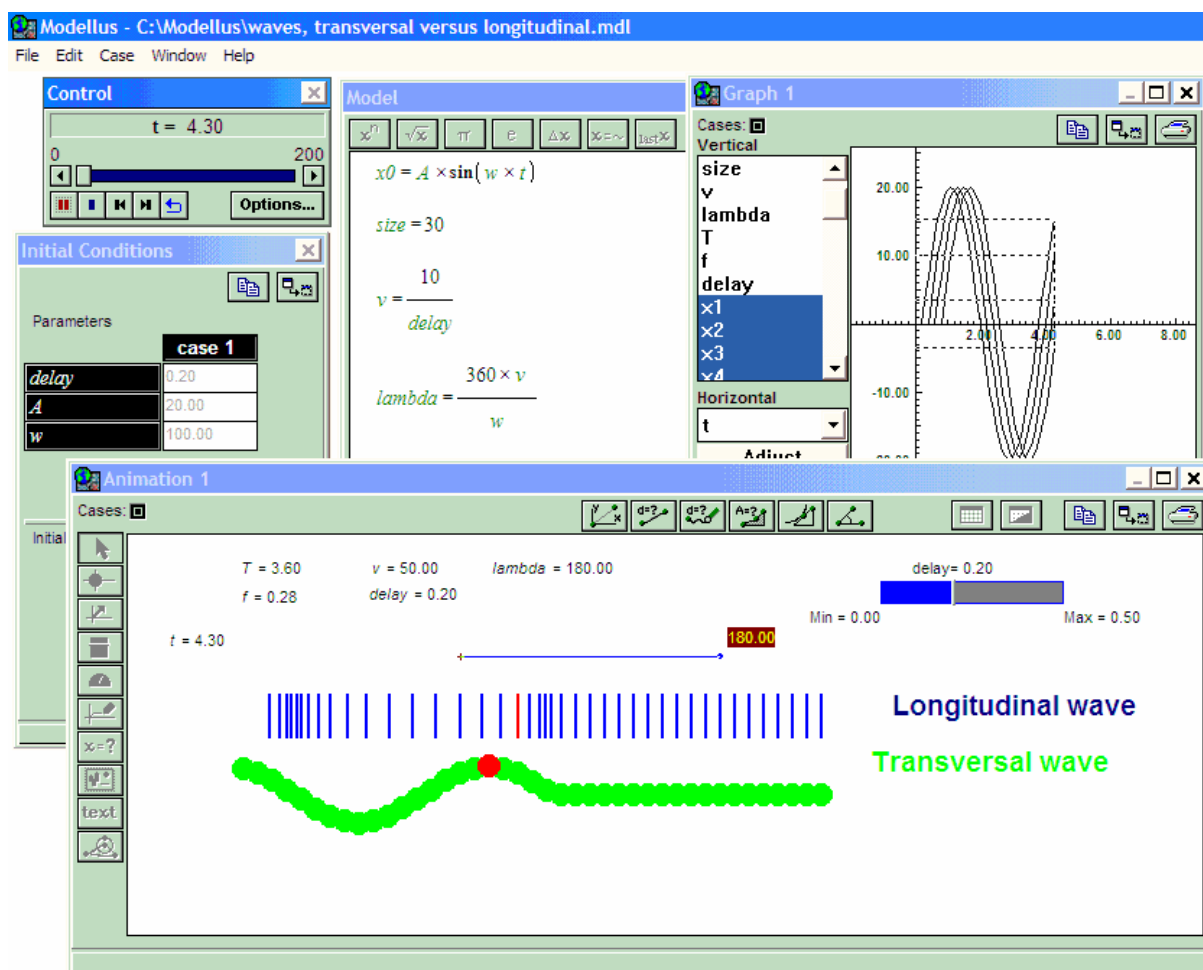


Figura 2 Modelo e simulação de um conjunto de oscilações desfasadas e de duas ondas, uma longitudinal e outra transversal.

A quinta ideia está subjacente a tudo que se disse atrás. O conhecimento do mundo físico não é o resultado da observação “ingénua” e desprovida de “conceitos” e de “ideias”. A observação científica é uma “reconstrução” do que os olhos vêem. Para um observador “ingénuo”, não científico, uma bola sobe e desce quando se afasta para cima e depois desce para o solo! Para um observador “científico”, a bola tem “posição num certo referencial”, está a ser actuada por um “campo gravítico”, possui “energia cinética” e “potencial”, é “actuada por uma força que realiza um certo trabalho total nulo”, etc.

A modelação computacional exige uma utilização clara e inequívoca das ideias físicas, precisamente porque as ideias precisam de ser expressas matematicamente e o software exige rigor na expressão das ideias. Caso assim não seja, como todos sabemos, surge alguma mensagem de erro ou “as coisas não funcionam”... Esta exigência de rigor (rigor de ideias mas também rigor de sintaxe no uso da linguagem matemática) na construção de um modelo computacional ilustra bem com funcionam os modelos científicos, sem margem para situações equívocas ou imprecisas, a não que estejam explicitamente previstas no modelo.

Porque é que não está mais generalizada a utilização de computadores e de modelação no ensino introdutório da física, se esta utilização é tão comum na investigação científica e tecnológica? Chegámos à última “ideia básica”: a mudança do ensino “tradicional” da física

para um ensino mais próximo da realidade da produção de conhecimento científico e tecnológico é necessariamente uma mudança lenta, dependente de processos de mudança social e de mudança individual. Em poucas palavras, o ensino “tradicional” da física é um ensino em que se escrevem umas fórmulas no quadro negro e se resolvem problemas numéricos inventados a partir das fórmulas, na maior parte dos casos sem os alunos terem qualquer contacto concreto e em primeira-mão com os fenómenos e o mundo físico real. Esta é uma visão que se opõe a um ensino em que os alunos investigam, observam, medem, exploram, controlam variáveis, constroem modelos, analisam o significado e as limitações dos modelos.

A componente social da mudança no ensino está fundamentalmente relacionada com políticas públicas que passam pela valorização da cultura e da educação científica e tecnológica e por currículos, escolas e sistemas públicos de ensino com qualidade e empenhados no sucesso educativo e pessoal dos jovens. A componente individual da mudança está relacionada com o desenvolvimento profissional e pessoal dos professores, profissionais que cada vez mais se devem assumir como intelectuais, como aprendizes, como investigadores.

Contribuição do Prof. Vitor Duarte Teodoro para o XVSNEF