

USO DE MICROCOMPUTADORES NO ENSINO DE FÍSICA (*)

O projecto da Universidade de Maryland

O currículo introdutório do curso de Física tem-se mantido muito estável durante mais de trinta anos, sendo quase uniforme em todo o país. Não obstante a aparente estabilidade, existem indicações de que três «indutores de mudança» começam a ter impacto: (1) a explosão de novos conhecimentos em Física e áreas relacionadas em matemática; (2) novos conhecimentos sobre o processo de aprendizagem obtidos a partir de estudos em Psicologia cognitiva; (3) o poder e a ampla disponibilidade de computadores pessoais. Estes desenvolvimentos desafiam o currículo tradicional de Física, oferecem novas oportunidades para introduzir estudantes na excitação de uma carreira de investigação em Física básica ou aplicada, e conferem uma preparação para essa carreira que é simultaneamente mais ampla e mais profunda do que aquela que temos sido capazes de oferecer no passado.

WILLIAM M. MACDONALD,
EDWARD F. REDISH
e JACK M. WILSON

Embora os exemplos e problemas na actual geração de textos introdutórios de Física aparentem ter sido modernizados, de facto, na maior parte dos casos, mesmo os problemas de aspecto moderno são simplesmente reformulações de problemas, maioritariamente tirados de textos mais antigos. Isto é uma consequência clara do facto de o nível da matéria no currículo de Física continuar a estar fortemente limitado pela preparação matemática que se pede aos estudantes. Menos óbvio é o facto de a preparação matemática que se espera para um estudante típico ter também determinado bastante não só a organização da matéria como também a ênfase relativa aos diversos tópicos.

O que falta a um curso introdutório de Física é a arte de analisar sistemas físicos reais. Isto requer uma variedade de princípios físicos e uma panóplia de habilidades que não são usualmente introduzidos até ao curso de pós-graduação ou na actividade profissional. No curso introdutório, a artificialidade dos problemas e a limitada introdução ao extenso conjunto de perícias profissionais fornecem uma imagem enganadora. Mesmo os estudantes de física mais brilhantes fazem frequentemente pouca ou nenhuma ideia sobre o trabalho real dos físicos profissionais.

Computação aplicada

Para remediar esta situação, iniciou-se há uns cinco anos atrás o

Projecto da Universidade de Maryland sobre Física e Tecnologia Educacional (M.U.P.P.E.T., «Maryland University Project on Physics and Educational Technology») originado em discussões entre um grupo de professores, que se tinham convencido de que a disponibilidade de computadores pessoais potentes e económicos, era o meio de tornar a educação dos físicos mais eficaz e excitante. Os fundadores do M.U.P.P.E.T. acreditavam que estes computadores podiam ajudar a:

- reorganizar elementos do currículo para colocar ênfase nos fundamentos da Física;
- alargar o conteúdo do curso para incluir mais Física contemporânea e dar ao estudante mais experiência com sistemas complexos;
- treinar a intuição do estudante através de simulações;
- fornecer experiência de investigação através de projectos criativos.

O M.U.P.P.E.T. tem sido orientado por três princípios importantes: temos de reavaliar o currículo, tendo em conta a disponibilidade do computador (o que podemos ensinar com ele que antes não podíamos?); o computador não deve substituir o professor, o livro de texto, ou o laboratório; e é o estudante que deve manipular o computador e não o contrário.

O primeiro ponto significa que usar o computador para ilustrar exemplos no currículo corrente não é suficiente.

Sublinhamos o segundo, visto que o professor, o texto, e o laboratório tem cada um os seus pontos fortes e as suas fraquezas. Em vez de substituir qualquer um destes, o computador pode ser usado para dar poder aos estudantes, permitindo-lhes resolver grandes grupos de problemas que anteriormente eram inacessíveis no nível introdutório.

O terceiro ponto requer que os estudantes tenham sempre a sensação de estar à altura da situação. Os estudantes têm, por essa razão, de saber o que o computador está a fazer e não o considerar como uma caixa preta. Isto implica que o estudante vai realizar alguma programação e que programas usados na aula terão uma estrutura aberta e acessível. As matérias desenvolvidas no M.U.P.P.E.T. requerem do estudante que ele leia e escreva programas de computador. Boas práticas de programação (construção descendente, programas estruturados, nomes sugestivos para variáveis, indentação, etc.) são realçadas e requer-se que todos os programas usados ou escritos no curso sejam facilmente lidos por outros estudantes e pelo instrutor.

Começámos a utilizar o computador nos cursos introdutórios de Física na Universidade de Maryland em 1984, usando computadores pessoais ao abrigo de uma bolsa da IBM Corp./AEP. O desenvolvimento de materiais que usassem o computador nos cursos

(*) Traduzido de *Computers in Physics*, n.º 4, 23, 1988, por J. Gabriel Rosa.

introdutórios de Física começou a sério em 1985 ao abrigo de uma bolsa proveniente do «Fund for the Improvement of Post-Secondary Education». Os estudantes têm sido ensinados a usar o computador no primeiro semestre do curso introdutório de Física, e o seu uso tem-nos habilitado a explorar maneiras de reconstruir o currículo para colocar ênfase no conteúdo físico e nas habilitações que são hoje apropriadas para um físico profissional.

Muito embora usássemos o computador no laboratório e nas aulas, não discutiremos esses métodos aqui. Tem havido um longo e exaustivo debate sobre o papel do laboratório na educação da Física, com propostas que vão desde a substituição dessas aulas inteiramente por «workshops» ou laboratórios de «descoberta», até à eliminação por inteiro do laboratório. Não existe um debate semelhante sobre o papel e o conteúdo do curso teórico (especialmente no que respeita ao papel adequado do computador nesse curso). Por esta razão, limitaremos neste artigo a nossa discussão à parte teórica do curso introdutório para estudantes de Física. Acreditamos firmemente na importância do laboratório como parte integrante da educação de um físico e esperamos, num outro artigo, debruçar-nos sobre o papel do computador no laboratório.

Para começar a nossa discussão sobre computadores nas aulas de Física, consideremos exemplos específicos das quatro técnicas tornadas possíveis com o computador: reorganização, alargamento, treino da intuição e projectos.

Curriculum reorganizado

A ordenação do curso tradicional é largamente regulada pelo treino matemático que supomos que o estudante possui. Como certas formas discretas de uma lei são muitas vezes conceptualmente mais simples do que as contínuas, a presença do computador permite-nos introduzir ideias fisicamente importantes num estágio anterior ao que seria doutro modo possível. Isto tem consequências para a estrutura intelectual do curso, permitindo-nos modificar a ênfase de uma maneira significativa.

Investigadores das ciências cognitivas que estudam a abordagem à Física por alunos ingénuos, têm realçado a importância de uma ordenação hierárquica das matérias apresentadas aos estudantes. Uma das tarefas mais difíceis para um principiante em qualquer domínio consiste em decidir quais são os usos e as relações de forças entre os vários conceitos, princípios e técnicas apresentadas. Podemos identificar três classes de métodos: «gimmicks», «ferramentas de bolso», e «ferramentas de poder». «Gimmicks» são resultados derivados, os casos especiais, e os factos interessantes mas não essenciais. Ferramentas de bolso representam princípios simples, convenientes e importantes, que se podem buscar e aplicar facilmente a uma variedade de problemas para dar respostas parciais ou para avaliar a plausibilidade de resultados. Estas incluem as leis de conservação, o princípio da incerteza, e assim por diante «Ferramentas de poder» são aqueles métodos que podem conduzir a resultados de elevada exactidão numa vasta variedade de sistemas.

Ferramentas de poder

Os estudantes no curso introdutório de Física passam particularmente um mau bocado a decidir o que é realmente importante, porque o nível das suas habilidades matemáticas os impede de usar directamente as «ferramentas de poder», excepto em alguns casos muito especiais. Em mecânica, tanta ênfase é colocada nos «gimmicks» associados a um campo gravitacional constante (gravidade da «Terra plana») que o estudante não chega a aprender como usar a verdadeira ferramenta de poder, a Segunda Lei de Newton. De modo similar, em electrostática, a Lei de Gauss, que é uma importante ferramenta de bolso, é discutida exaustivamente e usada para derivar o campo electrostático em vários casos especiais. Mas o estudante raramente aprende a usar as verdadeiras ferramentas de poder da electrostática, as equações que podem ser usadas para encontrar o campo eléctrico ou as superfícies de potencial electrostático

para qualquer arranjo de cargas e condutores.

O computador reduz a limitação imposta pela preparação matemática de estudantes e permite-nos apresentar a matéria numa ordem hierárquica que realça — e usa — os conceitos e leis da Física mais importantes e poderosos. No curso M.U.P.E.T., as ferramentas de poder não são restringidas ao nível formal. O estudante é capaz de trabalhar directamente com elas para resolver problemas de interesse e significado considerável.

Como exemplo, considere-se o modo como é apresentada a mecânica no curso introdutório usual para cientistas e engenheiros. Quase todos os textos introdutórios de Física iniciam a sua apresentação da mecânica com dois ou três capítulos sobre o movimento num campo gravitacional uniforme, antes de discutir a Segunda Lei de Newton. Isto é assim porque, em primeiro lugar, aquele movimento pode ser resolvido algebricamente sem equações diferenciais e constitui um lugar apropriado para introduzir o conceito de derivada. A segunda lei requer uma mais completa compreensão das derivadas.

Mas do ponto de vista da Física e da Psicologia cognitiva tal é bastante inadequado. O campo gravitacional uniforme é um caso muito especial e peculiar. Colocando-o em primeiro lugar, confere-lhe uma primazia que é imerecida e enganadora. Torna-se difícil para o estudante desenvolver um conceito apropriado de força, o que leva à confusão entre força e aceleração. Muitas vezes o estudante não consegue compreender o carácter local da lei de Newton, está confuso sobre a causa do movimento de um projectil, e sobregeneraliza a independência dos movimentos ortogonais.

Depois de introduzidas as leis de Newton, o estudante usa estas equações para encontrar o movimento de objectos a forças constantes (ou forças constantes por partes como a fricção) e nada mais. Em vez disso, capítulos sobre a conservação da energia e da quantidade de movimento seguem-se imediatamente. Estas são leis fundamentais, mas a sua introdução nesta altura serve na realidade para permitir alguma discussão sobre o

movimento que não é uniformemente acelerado. Alguma da dificuldade que os estudantes têm com estas leis de conservação pode ser encontrada na falta de compreensão das suas posições próprias na hierarquia das ideias. Mais tarde, o estudante aprende (leia-se: é-lhe apresentada) a solução para o oscilador harmónico.

Alguns textos, poucos, também tratam a solução para o problema de Kepler em pormenor, mas os estudantes que estudam cálculo ao mesmo tempo acham isto muito difícil. O estudante deixa frequentemente o curso introdutório de Física com a impressão que estes são os únicos casos solúveis. Pior ainda, muitos estudantes acham que, no mundo da Física, como que oposto ao mundo real, as equações para o movimento uniformemente acelerado, o movimento circular, ou oscilações simples descrevem o movimento de todos os objectos.

No curso de Física do M.U.P.P.E.T., os estudantes são ensinados a ler, «correr» e escrever programas simples na popular linguagem de programação de computadores Pascal, apoiados por textos que temos vindo a desenvolver. Os estudantes usam o computador para explorar a relação entre posição, velocidade e aceleração usando as duas relações diferenciais aprendidas no cálculo,

$$v = dx/dt \quad (1)$$

$$a = dv/dt$$

e as equações de diferença aproximada para estas quantidades em $t_n = n\Delta t$:

$$v_n = (x_{n+1} - x_n) / \Delta t \quad (2)$$

$$a_n = (v_{n+1} - v_n) / \Delta t$$

Um pacote de gráficos simples chamado MUPgraph permite ao estudante escrever programas que mostram traçados de x_n , v_n e a_n em diferentes janelas de computador. Trabalhando com as relações cinemáticas para uma variedade de casos, e usando gráficos, os estudantes ganham uma compreensão intuitiva da relação entre velocidade e aceleração para muitas funções $x(t)$ diferentes.

Isto é importante, porque a falta de capacidade de compreensão intuitiva destas relações constitui a fonte principal das dificuldades que os estudantes têm na introdução à mecânica.

Este breve exemplo fornece apenas um caso do modo como o computador pode modificar a organização do currículo dando a primazia a importantes conceitos físicos e apresentando aos estudantes as ferramentas de poder da Física. Pode, é claro, ser estendido e aplicado ao resto do programa da mecânica introdutória.

Alargar a extensão de conhecimentos

Muitos problemas relevantes e interessantes são excluídos do currículo padrão mesmo quando conceitos físicos e equações relevantes são facilmente apresentáveis e compreensíveis, porque as suas soluções são matematicamente inacessíveis ao nível introdutório. O computador permite-nos alargar o currículo-padrão de modo a incluir muitos destes problemas. Isto é importante por um número de razões: (1) podemos fazer problemas que são mais realistas e que estão mais perto da experiência dos estudantes; (2) podemos introduzir novas maneiras de pensar sobre problemas e de extrair a física de sistemas complexos-maneiras que estão mais em consonância com a maneira do físico profissional abordar problemas realistas; (3) podemos introduzir física nova, cujo interesse é contemporâneo. Discutiremos dois exemplos extraídos da mecânica que ilustram estas ideias: o pêndulo de grande amplitude, e a dinâmica não-linear (caótica).

O pêndulo de grande amplitude

O exemplo mais simples de um sistema não-linear é o pêndulo. A aproximação harmónica é discutida na sua totalidade em todos os textos introdutórios, só alguns, poucos, discutem correcções a ela. Mas raramente notam que o termo não-linear

muda completamente o carácter qualitativo das soluções correspondentes a movimentos de grande amplitude. A diferença mais óbvia é que a solução harmónica

$$\theta = \theta_{\max} \cos(\omega t + \delta) \quad (3)$$

prevê movimento oscilatório mesmo quando a velocidade inicial é tão grande que o deslocamento angular máximo excede 90° .

Uma diferença menos óbvia consiste no facto de o princípio de sobreposição não ser válido para movimentos de grande amplitude. A solução para grandes amplitudes da equação exacta não é igual à soma das duas soluções independentes com coeficientes determinados pelas condições iniciais.

Encontrar soluções numéricas para a equação

$$d^2\theta/dt^2 = -(g/l) \sin \theta \quad (4)$$

permite ao estudante aprender a diferença entre a solução analítica para uma equação aproximada e a solução numérica para uma equação exacta. A transição do comportamento linear na aproximação harmónica para o movimento não-linear pode ser facilmente seguida traçando a trajectória no espaço de fase. Não apenas tais traçados são valiosos para estudar qualquer género de movimento não-linear, como também a sua introdução forma a base para uma introdução à regra de quantificação de Bohr-Sommerfeld.

Dinâmica caótica

Um exemplo de alargamento para incluir problemas de interesse contemporâneo é a inclusão da teoria da dinâmica não-linear. Estes tópicos são de interesse corrente considerável não só para cientistas como para o público em geral. Por exemplo, «Chaos» de James Gleick (Viking, 1987 e português, Gradiva, 1989) está actualmente na lista de «best-sellers».

Os estudantes nas nossas turmas do primeiro ano de Física estão ansiosos por aprender tópicos modernos tais como caos, duplicação de período, fractais e bacias de atracção. Sistemas simples dão exemplos de todos estes tópicos, os quais podem ser facilmente explorados usando computadores pessoais. Muitos sistemas exibem comportamento caótico a certo nível, e alguns sistemas só podem ser compreendidos com a ajuda de equações não lineares.

O assunto do caos (ou sensibilidade às condições iniciais) é, de facto muito mais, do ponto de vista conceptual, do que simplesmente uma tentativa de condimentar um curso que não envolve alguns tópicos quentes. O curso introdutório padrão inclui um grande bloco sobre mecânica clássica. Um ponto principal deste bloco é a previsibilidade: dadas as posições e velocidades iniciais de todos os corpos e as leis de força entre eles, os seus movimentos são previsíveis (inferidos para sempre) usando as leis da mecânica.

O curso introdutório padrão também inclui um grande bloco sobre termodinâmica. Embora possa ser dada separadamente, é frequentemente introduzida em conjugação com alguns conceitos da teoria cinética ou mecânica estatística. Esta abordagem requer a descrição da mecânica com base em probabilidades, especialmente se a definição de entropia for apresentada a partir da teoria da informação. Este procedimento pode ser muito confuso para o estudante, dada a ênfase sobre previsibilidade no capítulo sobre mecânica. É possível que se estabeleça uma barreira entre mecânica e termodinâmica na mente do estudante.

Se ocuparmos uma semana com a dinâmica não-linear, na forma de uma interpolação entre mecânica e termodinâmica, podemos melhorar substancialmente a situação. Existem muitos exemplos simples onde o comportamento a longo prazo é extremamente sensível às condições iniciais. Tendo introduzido o plano de fase, podemos também introduzir naturalmente os conceitos de preparação de estados, conjuntos, incerteza experimental, replicabilidade e médias. Trajectórias complexas no

espaço de fase ocorrem até mesmo em sistemas simples. A relação entre uma média temporal e uma média sobre um conjunto torna então plausível a ideia fundamental da mecânica estatística.

Treino da Intuição

Dirac disse uma vez que um físico não compreendeu um problema até que o possa «resolver sem o resolver», isto é, até que tenha experiência suficiente para julgar que efeitos físicos são mais importantes de modo que possa antecipar a solução sem resolver os pormenores. Esta, assim chamada, «intuição física» só pode ser conseguida estudando um grande número de problemas específicos. Além disso, requer experiência com sistemas complexos nos quais interagem efeitos físicos diferentes.

Um exemplo de um tal problema é dado pelas trajectórias de bombas da Grande Berta, o canhão de longo alcance usado para bombardear Paris na primeira Guerra Mundial, de uma distância de 120 quilómetros. (Ver Problema 5.6-12, p. 217 de Bennet incluído adiante em «Para leitura adicional.») A altitude máxima destas bombas era tão grande que a variação da densidade do ar com a altura modifica qualitativamente a solução. A fórmula para a resistência do ar dada por:

$$F_T = -C_T A \rho v |v| \quad (5)$$

mostra que a resistência é proporcional à densidade do ar, e por conseguinte diminui com a altitude. Quando a variação da densidade do ar com a altitude é tomada em conta, pode-se colocar outra vez a questão, «Que ângulo de elevação da Grande Berta fornece o alcance máximo?» Muitos físicos julgarão que um ângulo superior a 45° reduzirá a resistência do ar ao longo da trajectória, dando origem a um alcance maior. Mas poucos ficarão confiantes antes de verem a solução para este problema, que só se pode obter por integração numérica. Muitos também quererão ver se os resultados numéricos poderiam ter sido

antecipados por algum cálculo aproximado.

Sistemas complexos que requerem programas longos ou sofisticados podem ser investigados por estudantes usando «pacotes de simulação». Estes são programas que podem resolver uma variedade de problemas associados com uma dada classe de sistemas. Um exemplo é o programa «Orbits» (ver Harold, adiante, em «Para leitura adicional»), desenvolvido pela equipa do M.U.P.P.E.T.. Este programa resolve o problema de três corpos restrito formado por dois objectos pesados e um conjunto de corpos leves que não interagem uns com os outros. Podem ser considerados até cinco objectos. O programa permite que se especifiquem as condições iniciais num «ecrã de dados», o qual pode ser guardado como um cenário. Também se pode carregar e correr um cenário previamente guardado. As órbitas são traçadas, sendo mostrada informação acerca delas. O estudante pode escolher entre mostrar as órbitas no referencial de centro de massa ou no referencial estacionário de um dos dois corpos pesados. O estudante pode comunicar a qualquer um dos objectos o incremento de velocidade v usando o teclado do cursor.

O programa pode ser usado de um grande número de maneiras. O professor poderá preparar uma folha de problemas para um «microlaboratório», que é uma série de aulas passadas numa sala equipada com microcomputadores, com os estudantes tentando resolver um conjunto específico de problemas enquanto um instrutor está pronto a responder a questões. O programa também pode ser posto à disposição dos estudantes para o uso fora das aulas, nomeadamente, trabalhos de casa. Finalmente, o programa é suficientemente eficaz e flexível para ser usado pelos estudantes num projecto final sobre o problema gravitacional de muitos corpos.

Projectos dos estudantes

A quarta maneira como um computador pode ser usado num curso introdutório consiste em permitir aos

estudantes realizar alguns projectos independentes, ganhando com a experiência do modo como se faz investigação científica. Na maior parte das versões do currículo corrente, as habilidades computacionais necessárias à investigação — a compreensão de aproximações e truques numéricos — são deixadas para o estudo da Física como sendo uma «ciência exacta» em vez de uma ciência onde conhecemos o alcance de aplicabilidade das nossas equações. Raramente se encontram num programa de licenciatura técnicas para resolver problemas a uma escala grande, a não ser que o estudante faça uma tese de licenciatura. Isto é particularmente infeliz, visto que a abordagem de um problema complexo e em aberto (especialmente uma questão cuja resposta não seja conhecida antecipadamente) constitui a perícia fundamental de um cientista profissional. O currículo tornou-se tão uniformizado que pode até parecer excessivamente rígido. No presente currículo, um estudante da licenciatura em Física pode ter dois anos de Física no liceu, quatro anos de Física universitária e dois anos de Física de pós-graduação sem nunca encontrar um problema para o qual o professor não saiba a resposta! Isto adultera muito o papel importante que criatividade e o raciocínio independente têm no trabalho diário de um cientista profissional.

A nossa abordagem coloca ênfase nas ferramentas de poder da Física, apresenta aos estudantes métodos numéricos que podem ser usados para resolver problemas relativamente complexos, e dá-lhes a experiência de perseguir uma variedade de tópicos para além de um nível qualitativo e aproximado para resultados mais completos e quantitativos. Damos conta de que mesmo a fazer trabalho de casa específicos muitos estudantes usam esse trabalho como um trampolim para examinarem problemas que lhes interessam. A oportunidade para fazer projectos que levam algumas semanas ou mais passa ser acabados, foi bem-vinda pela maioria dos estudantes, tendo eles atacado uma variedade de problemas bem excitantes. Os tópicos estudados têm incluído galáxias em

colisão, luas «pastoras» nos anéis de Saturno, satélites ligados, o comportamento de osciladores não lineares e a transferência de planetas entre estrelas em colisão.

Os estudantes têm abordado a computação numa variedade de modos, incluindo a escrita dos seus programas a partir do nada, a escrita dos seus programas com a ajuda das utilidades e dos programas «template» M.U.P.P.E.T. e de programas-ferramenta eficazes já elaborados tal como «Orbits», para estudar uma certa classe de problemas. Os alunos têm achado este aspecto do curso muito bem conseguido e satisfatório.

O ambiente do M.U.P.P.E.T.

Temos tentado desenvolver os nossos materiais e modificações curriculares de modo a poderem ser usados de uma maneira não dispendiosa e efectiva numa variedade de ambientes. O nosso ambiente pessoal em Maryland baseia-se actualmente em computadores pessoais IBM XT e AT. Uma configuração razoável para usar os nossos materiais é um 8088 ou 80286 IBM compatível com duas drives de disquetes ou uma disquete e um disco duro. Para a máquina baseada no 8088 (um IBM XT ou cópia deste), recomenda-se muito um co-processor 8087, com 649K de memória. Todos os nossos pacotes foram preparados para correr com uma placa gráfica CGA ou EGA.

Na nossa experiência, uma tal máquina satisfaz 8-10 estudantes. Dispomos de dois micro-laboratórios no Departamento de Física: um com 16 máquinas, maioritariamente XTs, ligados em rede com um AT servidor. O segundo laboratório é um laboratório suplente com uma dúzia de máquinas, também ligadas em rede ao mesmo servidor. As nossas turmas do primeiro ano da licenciatura em Física, cada uma com 10-20 estudantes, reúnem-se lá 3-4 vezes cada semestre com o professor, para uma sessão de uma hora de micro-laboratório. Alguns assistentes mantêm o laboratório aberto durante oito horas durante a semana. Estudantes fazem uso extensivo do laboratório para trabalhos de computador e projectos de fim de ano.

A Universidade de Maryland também instalou um certo número de micro-laboratórios para fins gerais em bibliotecas espalhadas pelo campus, e vai começar no próximo ano a colocar computadores nas residências estudantis como parte de um esforço mais amplo para expandir a acessibilidade dos computadores.

Passámos grande parte do nosso primeiro ano a debater as linguagens a usar no M.U.P.P.E.T. Concluímos então que a linguagem apropriada para os caloiros era o Pascal. Existem certas razões para esta escolha (ver caixa).

— O Pascal encoraja bons hábitos de programação. Isto resulta em programas que são fáceis de ler por terceiros e que fornecem ao estudante blocos construtivos para uso em projectos cada vez mais ambiciosos.

— O Pascal reduz significativamente os erros em tempo real. Estes tendem a ser difíceis de analisar para o estudante no curso introdutório. Podem ser frustrantes e fazer perder tempo.

— O Pascal foi padronizado. Apenas existem pequenas diferenças em versões diferentes.

— Estudantes que conhecem Pascal acham fácil a aprendizagem de linguagens mais poderosas, como o FORTRAN, C, e ADA.

— A programação em Pascal encoraja uma abordagem algorítmica à resolução de problemas, que investigadores das ciências cognitivas descobriram ser fortemente vantajosa na aprendizagem de práticas de resolução de problemas gerais.

O Pascal também é largamente preferido como a linguagem ensinada nos cursos de introdução aos computadores, mesmo ao nível do liceu. Uma grande fracção dos nossos caloiros de Física entram no curso já familiarizados com o Pascal. Finalmente, uma consideração financeira importante é o facto de o Pascal estar disponível numa versão pouco dispendiosa (disponível a estudantes ao preço de um livro de texto) como o «Turbo Pascal» da

Borland International, Califórnia. O «Turbo Pascal» combina convenientemente editor e compilador, tem uma excelente verificação da sintaxe, e compila muito rapidamente.

De forma a reduzir ao mínimo a programação que temos de ensinar, desenvolvemos folhas que distribuímos nas aulas, que contêm as bases do Pascal na forma de algumas ideias mínimas. Desenvolvemos «utilidades» que permitem aos estudantes e aos professores a escrita fácil de programas com gráficos de «input» interactivo e várias janelas simples. Programas exemplificativos simples podem ser usados interactivamente em micro-laboratórios para estudar fenómenos complexos e servir de programas de arranque ou «templates» a partir dos quais podem ser construídos outros programas. Isto torna possível aos estudantes aprender muito rapidamente a escrita de programas.

Estes materiais também ajudam a resolver o problema de tornar o computador acessível a professores que não programam ou que programam numa linguagem demasiado sofisticada para a maior parte dos caloiros.

Actualmente chamamos a esta colecção de materiais «Física Introdutória com o Microcomputador». Ela está continuamente a ser modificada e expandida como resultado da resposta de estudantes, professores e outros utilizadores. As folhas e as instruções podem ser obtidas escrevendo a um dos autores. Os programas e «utilidades» podem ser obtidos através do boletim electrónico da AAPT/M.U.P.P.E.T., ao qual se pode ter acesso via modem pelo número (301) 454-2086.

O curso padrão de introdução à Física está tão densamente preenchido com matéria «absolutamente vital», que um texto de introdução à Física tem tipicamente mais de mil páginas e chega a pesar 4 quilos. Os professores correm pela matéria de modo a «cobrir» o máximo possível; queixas sobre a quantidade de matéria no curso introdutório são uma parte habitual em toda a discussão pública sobre mudanças no currículo.

A questão que então logicamente emerge é de que maneira poderemos

incluir mais matéria num currículo modificado? O que se tem de deixar de fora para dar lugar ao computador? Na nossa perspectiva, o currículo corrente está gravemente desequilibrado. Os estudantes acabam por memorizar demasiada matéria e pensar muito pouco. Alguma coisa terá certamente que ficar de fora, ou pelo menos adiada até mais tarde. Uma inspecção de programas de licenciatura indica que existe frequentemente algum espaço ao nível dos últimos anos. Muitos estudantes usam tal facto como uma oportunidade para iniciarem mais cedo cursos de pós-graduação. Uma nova estruturação do currículo tem de olhar para o programa inteiro. Pode ser produzido um produto muito mais coerente anulando o currículo antigo — reconsiderando o valor de todos os seus elementos — incluindo programas actuais e aqueles que estão a ser propostos.

Uma proposta modesta é suprimir o movimento do corpo rígido, a óptica e as propriedades dos materiais (incluindo dinâmica dos fluidos) até ao segundo ano. Estes tópicos podiam ser então tratados com mais profundidade nesse nível do que é costume no actual currículo. Técnicas para treino da intuição baseadas em computadores poderiam ser particularmente valiosas nestas matérias. E mais: dos estudantes treinados com o curso introdutório baseado em computador pode-se esperar que tenham uma maior sofisticação e capacidade de lidar mais efectivamente com esses tópicos.

A mudança mais significativa a surgir da inclusão do computador no curso não é a mudança de conteúdos. É a mudança nas actividades que os estudantes realizam fora da aula. O número de problemas de substituição («plug-in homeworks») é substancialmente reduzido (ainda que alguns se encontrem em qualquer trabalho). São substituídos por trabalhos de casa sobre problemas ligados ao computador, que estimulam a reflexão sobre os fenómenos. Estes não são simplesmente problemas numéricos: muitos deles são analíticos, estimativas, ou análises qualitativas que são necessárias antes que um problema possa ser levado ao

computador. Um projecto independente também tende a aumentar o envolvimento do estudante no curso e na matéria.

Em conclusão, o M.U.P.P.E.T. achou que muitas mudanças são possíveis e que existem muitos elementos do curso tradicional que são desequilibrados e inapropriados num ambiente moderno. O poder do computador permite-nos abordar alguns destes problemas. A inclusão do computador na primeira cadeira de Física do estudante, permite-nos iniciar o treino deste em habilidades normalmente negligenciadas até ao curso de pós-graduação, introduzir tópicos contemporâneos, e deixar o estudante empreender investigações criativas de problemas interessantes e por resolver, mesmo ao nível do primeiro ano.

Leitura adicional

Segue-se uma lista parcial de algumas obras usadas pelos autores na preparação deste artigo:

1) Gordon Aubrecht, «Should There Be Twentieth Century Physics in Twenty-First Century Textbooks?», «preprint» da Universidade de Maryland, 1987.

2) William R. Bennett, Jr., «Scientific and Engineering Problem-Solving with the Computer», Prentice-Hall, 1976.

3) J. B. Harold, K. A. Hennacy e E. F. Redish, «The Computer and Intuition Building: A Multi-Body Orbit Simulation», AAPT Announcer, 17, n.º 2, Maio 1987, p. 58.

4) J. H. Larkin e F. Reif, «Understanding and Teaching Problem Solving in Physics», European Journal of Science Education, 1, 191, 1979.

5) F. Reif, «Teaching Problem Solving-A Scientific Approach», The Physics Teacher, Maio 1981, p. 310.

6) Jack M. Wilson, «Microcomputers as Learning Tools», Conferência Interamericana sobre Educação em Física. «Criando Redes para o Ensino da Física nas Américas», Oaxtepec, Mexico 20-24/7/87, actas a publicar.