

Mecânica Gráfica, um Exemplo de Ensino de Física na WWW

(Graphical mechanics as an example for physics education in WWW)

Dietrich Schiel, Iria Müller Guerrini, Renata Moraes de Freitas
Sérgio Henrique Oliveira Pereira, Euclides Marega Junior,
Mônica Giacomassi de Menezes de Magalhães

Centro de Divulgação Científica e Cultural / USP

Caixa Postal 369, CEP 13560-590, São Carlos, SP

Fone (016) 272 3910

e-mail dietrich@cdcc.sc.usp.br

Recebido 3 de julho, 1997

Este curso à distância destina-se a alunos e professores do 2º grau. São realizadas experiências quantitativas sobre a mecânica do ponto material. Os alunos calculam velocidade e aceleração de um puck de mesa de ar em movimento num plano horizontal ou inclinado. São analisados movimento circular e de um corpo sujeito à força de uma mola. Os alunos enviam seus cálculos via Internet a um computador central onde são avaliados automaticamente e estabelece-se um diálogo com monitores reais. Além disso os alunos programam o computador em linguagem LOGO, simulando os movimentos obtidos experimentalmente. Adicionalmente os alunos obtêm órbitas gravitacionais de planetas ou satélites.

In this Distance Education Course high school students and teachers execute quantitative experiments with an air puck on an horizontal or inclined plane. There are also analyzed circular movement and the movement of a body accelerated by a spring. Velocity and acceleration are calculated by students and submitted to a central computer which realizes an automatic correction. Results are also commented by real tutors. Students also program their computer in LOGO language, reobtaining the experimental trajectories and additionally extend their work to gravitational orbits of planets or satellites.

Introdução

É um fato conhecido que, ao desenvolver as primeiras idéias da mecânica, Newton percebeu que a análise do movimento não uniforme poderia levar a cálculos repetidos num número extremamente grande de vezes, relativos a intervalos de tempo muito pequenos. Como isto seria impossível resolveu o problema de forma analítica criando para isto um ramo novo da matemática, o cálculo diferencial e integral. Hoje esta impossibilidade está sendo removida com a velocidade de cálculo possível nos computadores e podemos, por exemplo, prever a trajetória de uma sonda espacial sem conhecer sua equação analítica. No presente projeto o

aluno do 2º grau, que participa deste programa, chega a calcular órbitas gravitacionais sem que venha a saber o que é uma equação diferencial. Para a realização desta tarefa o aluno e seu professor são orientados à distância pelo grupo de colaboradores do Centro de Divulgação Científica e Cultural da Universidade de São Paulo, cidade de São Carlos - SP (CDCC-USP).

As idéias básicas para a presente proposta surgiram juntamente com as primeiras aplicações didáticas do computador, no começo da década de 70. Tinha sido criado a linguagem BASIC com o objetivo de tornar a programação de computadores acessível a leigos. Elisha Huggins [1] desenvolveu uma proposta de analisar movimentos gravitacionais registrados de forma astro-

boscópica com auxílio de programas feitos na citada linguagem. Posteriormente Seymour Papert [2] criou a linguagem LOGO com propósitos educacionais e inventou-se em São Carlos - SP o puck de Hessel [3] que permite o registro de movimentos bidimensionais a um custo bem inferior à fotografia estroboscópica. Na presente proposta de trabalho o aluno adquire familiaridade com a mecânica programando seu computador para que este reobtenha resultados obtidos experimentalmente. A facilidade de comunicação via WWW [4] é usada tanto para que o aluno possa rapidamente conferir a correção de seus cálculos quanto para obter orientação por monitores. A proposta de Huggins está presente em trabalhos educacionais em São Carlos desde a visita deste pesquisador ao Brasil em 1971. Um primeiro desenvolvimento completo da proposta completa, usando LOGO foi realizado por Roberta Giglioti, que na época de seu trabalho tinha entre 13 e 14 anos. Roberta foi premiada por isso no 36º Concurso Cientistas de Amanhã.

Em seu trabalho o aluno realiza e analisa experiências e programas feitas no computador. Isto ocorre nas seguintes etapas:

1 - Familiarização com a linguagem LOGO, aproveitando a motivação que o aspecto lúdico desta linguagem traz.

2 - Realização de experimentos quantitativos e obtenção de dados sobre a trajetória descrito a seguir. De posse destes dados o aluno calcula velocidade e aceleração desse corpo. Tabelas interativas permitem que o aluno possa imediatamente verificar, de forma virtual, se está acertando. Imprevistos, dúvidas e problemas conceituais são respondidos por monitores de carne-e-osso. Todos os cálculos feitos pelo aluno são registrados pela direção do programa.

3 - No final de cada capítulo o aluno faz um programa em LOGO, procurando reobter os resultados experimentais.

4 - Na fase final o aluno produz programas relativos a situações não realizáveis em laboratório: o movimento central gravitacional.

¹ A frequência de 60 Hz foi verificada com estroboscópio. Muitas vezes é suposta, equivocadamente, uma frequência de 120 Hz devido à "retificação de meia-onda".

Equipamento

Este programa destina-se a ser trabalhado em sala-de-aula ou laboratório. A sala deve ser equipada com 10 ou mais computadores, um dos quais ligado à Internet. O projeto também pode ser desenvolvido tendo-se apenas 1 computador. Neste caso a parte experimental pode ser realizada e pode ocorrer a orientação à distância, via Internet. A parte de programação em LOGO será porém prejudicada, podendo o professor desenvolvê-la com alguns poucos alunos, que apresentam os resultados aos demais.

O equipamento experimental básico é um puck de mesa de ar, especialmente projetado - o "puck de Hessel" (fig.1)

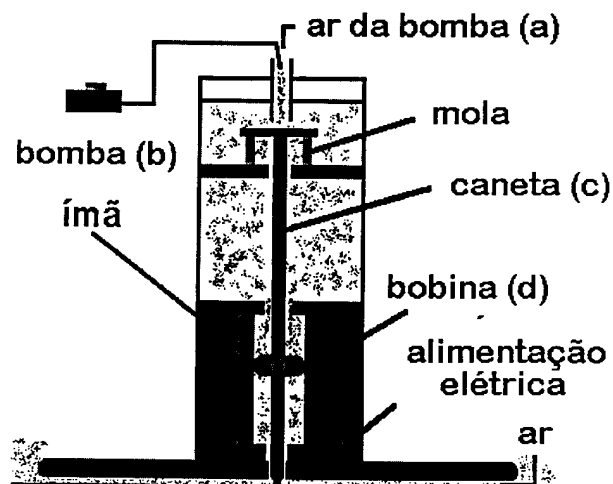


Figura 1. A Puck de Hessel. O ar (a) de uma bomba de aquário (b) é injetado no sistema e produz um colchão de ar em sua base. Uma canetinha (c) está presa a um anel de ferro no interior de uma bobina (d) na qual passa corrente alternada (60Hz). A canetinha oscila nesta frequência¹ marcando as posições deste corpo sobre uma mesa de vidro.

Os experimentos com o puck podem ser realizados por uma pessoa (professor ou aluno). A mesa de vidro aparece marcada por uma seqüência de pontos resultantes do funcionamento descrito na legenda da Fig. 1. Enquanto a tinta na mesa está úmida passa-se uma folha de papel sobre a trajetória, impressionando o papel, que será analisado individualmente por cada aluno. Como a realização de cada experimento dura poucos segundos, em menos de 10 minutos podem ser produzidas trajetórias para serem analisados por 40 alunos.

Conteúdo

O curso é desenvolvido ao longo do 1º e 2º anos do

2º grau, sendo os tópicos os tradicionalmente usados nestes anos. A tabela abaixo relaciona os tópicos e as atividades.

CONTEUDO	ATIVIDADES
Introdução ao Logo	Os alunos executam pequenos programas geométricos. Em seguida produzem um pequeno programa que produz uma série de pontos equidistantes.
Puck Conhecendo o puck Medidas com o puck Manutenção do puck	Experiências iniciais, ainda sem finalidade de discussão da Física. O aluno faz medidas de espaço e tempo para movimentos unidimensionais e bidimensionais aprendendo a identificá-los.
Movimento Uniforme Fundamentos Teóricos Procedimento Experimental Simulação em Logo	O puck atravessa a mesa numa velocidade de aproximadamente 50 cm/s. Os alunos calculam as velocidades através de $v = \Delta s / \Delta t$, preenchem uma tabela interativa no computador. O resultado é imediatamente avaliado. Os alunos programam o computador para simulação do experimento.
Movimento Uniformemente Variado Fundamentos Teóricos Procedimento Experimental Simulação em Logo	Inclina-se a mesa. O puck desce em movimento acelerado. Os alunos obtêm as velocidades e em seguida as acelerações através de $a = \Delta v / \Delta t$. Novamente o resultado é avaliado através de uma tabela interativa (ver abaixo). Simulação como antes.
Movimento de Projéteis Fundamentos Teóricos Procedimento Experimental Simulação em Logo	Um impulso lateral dado com a mão ao puck o faz executar um movimento parabólico na mesa inclinada. A análise mostra que este é a simples composição dos 2 movimentos anteriores. Simulação como antes.
Movimento Circular Fundamentos Teóricos Procedimento Experimental Simulação em Logo	Prende-se o puck em um ponto da superfície da mesa. O movimento resultante é analisado somando-se as acelerações $a_x + a_y$ concluindo que a aceleração centrípeta é constante. Simulação em Logo
Estudo da Dinâmica Fundamentos Teóricos Procedimento Experimental Simulação em Logo	Movimento retilíneo do puck acelerado por uma mola de constante conhecida, presa a um ponto fixo na mesa. Simulação em Logo
Movimento Gravitacional Fundamentos Teóricos Procedimento Experimental Simulação em Logo	O fio do experimento de movimento circular é substituído pela mola. Movimento central com conservação da velocidade areal. O movimento gravitacional é obtido apenas na simulação, substituindo a força central anterior por uma proporcional a $1/r^2$. O movimento obtido é elíptico com velocidade areal constante.

Tabela 1. Seqüência da programação do curso.

Interatividade

Neste programa o aluno e seu professor são constantemente orientados à distância. Desta forma aluno, professor, professor distante e a direção do programa constituem uma comunidade que permanentemente está a discutir o conteúdo. Contribuem para isto o computador central em São Carlos e o corpo e monitores do CDCC-USP, onde este projeto é orientado. Foram cri-

adas algumas facilidades computacionais especiais, usando a tecnologia inerente aos programas disponíveis no *world wide web*:

Tabelas interativas - O aluno preenche uma tabela na página *www* em que está recebendo orientação. Nesta página são colocados os espaços e tempos medidos e velocidade e aceleração calculados pelo aluno. Esta tabela é enviada à direção do projeto onde o computa-

dor central faz uma primeira correção dos cálculos. Esta avaliação é imediatamente devolvida ao participante.

Envio e comentário aos programas - Os programas em Logo são feitos no próprio computador usado para a orientação. Um browser contido na página de orientação permite localizar o programa e enviá-lo via e-mail. Estes programas são analisados pela equipe que gerencia o projeto.

Diálogo intermediado pelo computador - O objetivo principal deste programa é que venha a ser constituído um grupo de discussão à distância. Desta forma o diálogo informal constitui uma peça-chave. Com esta finalidade nos locais apropriados há nas páginas de orientação oportunidade para o envio de perguntas e comentários via e-mail. Evidentemente o e-mail simples também constitui ferramenta importante para este diálogo.

Para melhor compreensão do acima referido sugerimos consultar a página deste programa [6].

Exemplo de programa em LOGO

Reproduzimos, a título de ilustração, um programa que permite a simulação do movimento retilíneo uniforme, tal como é apresentado na página de orientação. Nos primeiros programas oferece-se ao aluno o programa elaborado, em seguida é apresentado apenas o algoritmo e finalmente simples diretrizes para o desenvolvimento próprio de programas. Existe, ainda, a opção de se apresentar o programa pronto e pedir ao aluno explicar a função de cada comando.

Percebe-se que este programa obtém os pontos da trajetória fazendo cálculos em loop: cada ponto é obtido a partir do anterior como se aquele fosse o ponto inicial.

Interessados podem obter o software Logo no nosso endereço [7] onde encontrarão também literatura ref-

erente. Recomendamos especialmente o texto de Jim Muller [8], que traz aplicações as mais diversas desta linguagem de programação.

Primeiros resultados de aplicação

O software deste programa foi terminado em outubro 1996. No 1º semestre de 1997 foi realizado treinamento de professores que estão para aplicá-lo no 2º semestre em mais de 20 escolas na região próxima de São Carlos. Além disto está disponível na “Rede de Centros de Ciência”, 23 Centros ligados ao CDCC-USP em 11 Estados brasileiros.

Em novembro 1996 este método foi usado numa classe do curso noturno na cidade de Americana (Estado de São Paulo). Nesta escola, colégio João XXIII, só estava disponível um computador, adquirido com recursos de projeto nosso. Devido à exigüidade do tempo só foi possível chegar-se a fazer e analisar experimentos sobre o movimento retilíneo uniforme.

Foi feita uma avaliação através de questionários respondidos pelos alunos [9,10]. Ressaltam-se no testemunho da professora Walessandra como pontos favoráveis ao projeto: o estímulo para entendimento do conteúdo, contato com a tecnologia atual, ampliação dos horizontes e facilidade de comunicação com orientadores distantes, possibilitando atualização do professor. Para os alunos foram pontos positivos o retorno de respostas nas tabelas interativas, a indicação de erros de cálculo. Como pontos a serem melhorados citaram a conexão discada à Internet (bastante problemática), tamanho da sala de computação (na Delegacia de Ensino). Sugeriram que o contato com o professor distante deveria ser imediato, durante a execução do experimento. Demonstraram muita curiosidade com respeito ao instrutor distante, que tipo de pessoa seria, etc.

ALGORITMO	PROGRAMA
1. Dar um nome para o programa	to mu :vx
2. A variável a ser usada é vx	
3. Limpar a tela	cs
4. Levantar o cursor	pu
5. Definir o ponto inicial "s"; fazer "s = 0	make "s 0
6. Definir o intervalo de tempo em que cada ponto será marcado; por exemplo dt = 1/60	make "dt 1/60
7. Definir onde o movimento vai começar	setxy 0 0
8. Definir o tamanho do ponto	setpensize [2 2]
9. Definir a escala	make "escala 28.6 (use a escala encontrada por você)
10. Chamar uma sub-rotina para fazer o movimento	passos
11. Terminar o programa	end
Algoritmo da SUB-ROTINA	
1. Dar um nome à sub-rotina	to passos
2. Definir onde o movimento vai começar	setxy :escala * :s 0
3. Descer o cursor	pd
4. Andar um passo	fd 1
5. Levantar o cursor	pu
6. Definir onde vai estar o próximo ponto pela equação do movimento	make "s :s + :vx * :dt
7 chamar a sub-rotina de novo	passos
8. Terminar a sub-rotina	end

Tabela 2. Programa em Logo para simulação de movimento uniforme. A escala mencionada na linha 9 é obtida previamente pelo aluno que mede com a régua uma figura, feita por meio da linguagem Logo, na tela do computador.

De 25 a 30 de janeiro de 1997 foi realizado um curso de treinamento com 20 professores de 2º grau da rede pública de ensino que usarão esta sistemática em 1997. Nesta semana foi cumprida toda a programação constante na tabela 1. Constatou-se que, provavelmente devido ao tempo exíguo que o professor dispunha, a maior dificuldade consistiu em familiarizar-se com a linguagem Logo. Outro ponto que causou bastante controvérsia foram os erros experimentais. Alguns professores imaginavam que os resultados inexatos, próprios de qualquer trabalho experimental, fossem confundir o aluno, acostumado à resolução de problemas onde os resultados não apenas são exatos como constituem números inteiros, quadrados perfeitos ou cálculos trigonométricos com números simples e memorizáveis. Percebe-se aqui a importância do desenvolvimento de um projeto como o presente, deixando claro que o erro e sua discussão fazem parte necessária da Física Experimental.

Conclusão

Com este trabalho mostramos ser possível inovar o conteúdo de Física no 2º grau usando o potencial representado pelo computador. O teste-piloto mostra ainda que os mecanismos de comunicação da Internet constituem um meio válido para o ensino à distância.

Agradecimento

Este trabalho não seria possível sem as contribuições financeiras de VITAE, FAPESP, CNPq e da pró-reitoria de pesquisa da USP. Contribuíram, ainda, Álvaro Garcia Neto, Luiz Henrique Godoy, Roberta Giglioti e Walexandra Araújo Dias.

Referências

1. Huggins E. *Graphical Mechanics*. Wentworth, COMPRESS, Inc. / Dartmouth College, 1979.

2. Papert S. *Logo: Computadores e Educação*. São Paulo, Brasiliense, 1988.
3. Hessel R. "Discos sustentados por colchão de ar, uma nova proposta" - Rev. Ens. Fis.4 (3), Dez 1982.
4. Schiel, Dietrich., Magalhães, Mônica G. M. Educação à Distância Usando Tecnologia WWW. - Em Aberto, nº70, MEC/INEP julho 1997.
5. Mascarenhas, S. Um Survey Sobre o Uso de Tecnologias Avançadas no Ensino; texto de palestra no InfoUSP, São Paulo, CCI/USP, junho 1997. <http://www.usp.br/geral/cultura/sergio.html>
6. *Programa Educ@r*, projeto de Física <http://educar.sc.usp.br/fisica/fisica.html>
7. *Programa Educ@r*, página sobre LOGO, <http://educar.sc.usp.br/fisica/logo/logo.html> - final da página de abertura.
8. Muller, J. The Logo Sourcebook - Exploring Logo On and Off the Computer 1996. Download gratuito em <http://www.softronix.com> (4 Mb, exige *acrobat reader*)
9. Magalhães, Mônica G. M. Relatório de avaliação de teste-piloto do programa de Física - CDCC-USP Dez. 1996
10. Magalhães, M. e Schiel, D. A Method for Evaluation of a Course Delivered via the World Wide Web in Brazil. The American Journal of Distance Education **11** (2), 64-70 (1997).