



Por que e como introduzir a aquisição automática de dados no laboratório didático de Física?

Podemos localizar temporalmente a segunda metade do século XVIII como o ponto de partida de um processo de transformação socioeconômica como poucas vezes antes foi vista na história da humanidade, a chamada revolução industrial. Este período foi caracterizado pela substituição do modo de produção artesanal pelo sistema fabril, impulsionado pelo advento das máquinas a vapor. Devido a esta notável evolução tecnológica, hábitos e costumes humanos foram drasticamente modificados, tornando necessária uma adaptação dos sistemas de ensino da época de modo a capacitar os indivíduos a lidarem com esta tecnologia.

Nas últimas três décadas pudemos presenciar outra grande transformação com um impacto gigantesco sobre a estrutura de nossa sociedade como um todo. Desta vez, o computador ocupa o papel principal neste processo, sendo raras as áreas do conhecimento hu-

mano nas quais não está presente. Nas ciências em geral e na Física em particular, o computador vem sendo maciçamente utilizado para a criação de modelos científicos altamente complexos, que não poderiam ser realizados sem o auxílio de algum recurso tecnológico a ele relacionado. Tal importância adquiriu esta ferramenta em nosso cotidiano que poderíamos imediatamente imaginar as mais incríveis transformações que estariam ocor-

rendo em nosso sistema de ensino no intuito de preparar nossos alunos para darem conta desse novo mundo informatizado que os cerca. Entretanto, na escola atual, o computador está sendo explorado prioritariamente na construção de materiais (como textos, apresentações e páginas na *web*), como fonte de consulta de informações e como meio de comunicação. É indiscutível a importância da abordagem de tais temas pela escola, porém visualizamos outras aplicações pertinentes, particularmente ao ensino-aprendizagem de Ciências, que não podem ser suprimidas no Ensino Médio, sob pena de comprometer a formação da cultura científica e tecno-

lógica do aluno, aliando-o da educação e alfabetização científicas [1].

Dentre as diversas aplicações das tecnologias de informação e comunicação na formação do cidadão, destacamos duas como particulares do ensino de Ciências: o computador como

Nas ciências em geral e na Física em particular, o computador vem sendo maciçamente utilizado para a criação de complexos modelos científicos que não poderiam ser realizados sem o seu auxílio. Entretanto, na escola atual, ele serve prioritariamente como simples fonte de consulta e apresentação de textos

instrumento para a modelagem científica e como suporte ao laboratório. Neste trabalho nos concentramos no segundo tipo de aplicação, enfocando a aquisição automática de dados no laboratório didático de Física. Nos países do primeiro mundo, isto já vem sendo feito desde o início dos anos 90 [2-3], enquanto nas escolas brasileiras pouco se avançou nesta área. Esta defasagem se deve, primordialmente, a três fatores: i) somente

.....
Rafael Haag

e-mail: haag@if.ufrgs.br

Ives Solano Araujo

e-mail: ives@if.ufrgs.br

e

Eliane Angela Veit

e-mail: eav@if.ufrgs.br

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....

No presente trabalho abordamos o uso de aquisição automática de dados no laboratório didático de Física, apresentando alguns conceitos básicos sobre o tema e exemplos ilustrativos. Diversas referências com detalhes técnicos sobre os sistemas de detecção, sobre os *softwares* utilizados e com a descrição de experiências voltadas para o ensino médio são sugeridas.

nos últimos anos microcomputadores estão sendo introduzidos nas escolas, ii) até recentemente os sistemas de aquisição de dados disponíveis requeriam interfaces externas ao computador, importadas e caras (só muito recentemente surgiram ofertas nacionais) e iii) o desconhecimento por parte da maioria dos professores da possibilidade de confecção de sistemas de aquisição automática de baixo custo e fácil desenvolvimento [4-12] e, especialmente, da possibilidade de uso do próprio microfone [13-17] ou da entrada auxiliar [18] do PC para medida em diversas áreas da Física.

Por que inserir a aquisição automática de dados no laboratório de Física?

Vários motivos podem ser aventados para introduzir aquisição automatizada de dados em um laboratório didático:

- enriquecer as experiências de aprendizagem propiciando outras alternativas para o aluno compreender e relacionar os resultados obtidos e os conceitos vinculados à fundamentação teórica do experimento e, assim, trazer a Física escondida entre os números e fórmulas para o “mundo real” (Veja Fig. 1) [3];
- permitir a realização de experimentos que envolvam medições de tempo em frações de segundos e a coleta manual é impossível (Veja Figs. 2 e 3) [11-13, 20];
- explorar experiências que re-

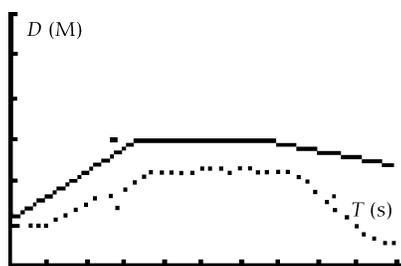


Figura 1. Posição em função do tempo. A linha contínua representa o gráfico de um movimento que se pretende reproduzir e a linha pontilhada é uma tentativa de reproduzi-lo, com um sistema CBL (*Calculator Based Laboratory*) [19]. Resultados de pesquisa mostram que a interatividade do aluno com este tipo de experimento é um fator que contribuiu para a compreensão de gráficos da cinemática [3].

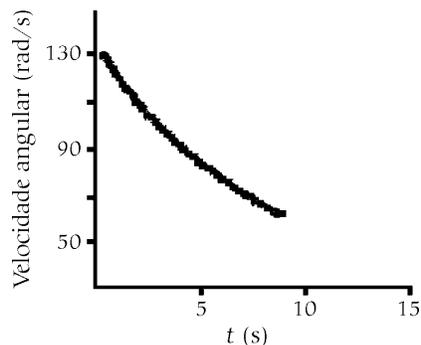


Figura 2. Medidas da velocidade de rotação de um pião. O sistema de detecção envolve um sensor ótico construído com fotodiodos (ou fototransistores). A leitura da entrada digital da porta de jogos é feita com a linguagem *Visual Basic Application*, em uma planilha *Excel*.

queiram um longo período de tempo. Nestes casos, o registro de dados pode ser possível manualmente, mas torna-se tedioso. (Veja Fig. 4.) [21];

- propiciar redução no tempo gasto para a coleta de dados, permitindo que o aluno disponha de maior tempo para desenvolver outras habilidades e competências, como trabalhar com planilhas eletrônicas [12];
- obter mais medidas, com maior precisão e mais rapidamente [4-15].

Outra motivação, que consideramos ainda mais importante, diz respeito à alfabetização científica. Vivenciar processos de medida em tempo real e, simultaneamente, observar na tela de um computador a representação dos dados colhidos, oportuniza uma melhor compreensão não só do estágio atual das Ciências, mas também do que ocorre em um consultório médico, quando são realizadas ecografias, ou nos sistemas de controle de produção em uma indústria

têxtil, por exemplo. Entretanto, para que consigamos atingir este objetivo, o sistema de aquisição não pode ser visto como uma *caixa-preta*. É preciso desmistificar o processo de aquisição automática de dados, permitindo que o aluno manipule os sensores, que faça medidas manuais, para observar o efeito de variações de grandezas físicas sobre os sensores, que trabalhe com sistemas de detecção, que explore *softwares* para, somente então, operar sistemas automáticos de aquisição de dados. Também é imprescindível abandonar os roteiros de laboratório tradicionais, que em muito se assemelham a uma receita de bolo, e introduzir atividades abertas, potencialmente mais propícias para aprendizagem da física envolvida no experimento [22].

Que tipos de sensores podemos utilizar?

Todo sistema de aquisição de dados necessita de um sensor para converter alguma grandeza física – como temperatura, força, pressão – em um sinal elétrico que posteriormente é entregue ao microcomputador para a coleta e análise dos dados. Atualmente há no mercado uma enorme quantidade de sensores e componentes eletrônicos de baixo custo que podem ser utilizados para este fim. Um simples potenciômetro (resistência variável), se acoplado a uma haste metálica com uma massa na sua extremidade, transforma-se em um sensor que possibilita a leitura da posição angular de um pêndulo em função do tempo [7]. Um termistor do tipo NTC¹ pode ser usado para medida de temperatura² [8, 21]. Até mesmo um

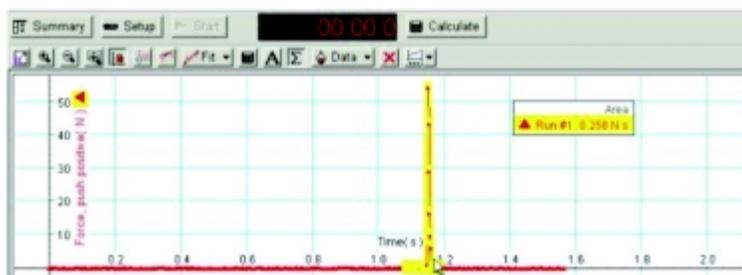


Figura 3. Dados coletados, com um equipamento da PASCO [20], para a força em função do tempo sofrida por um carrinho que sofre uma colisão. O fenômeno em estudo tem duração de centésimos de segundos, e sua detecção só é possível com algum sistema automático de coleta de dados. Neste exemplo, o *software* permite que seja avaliada a área sob a curva, que fornece o impulso.

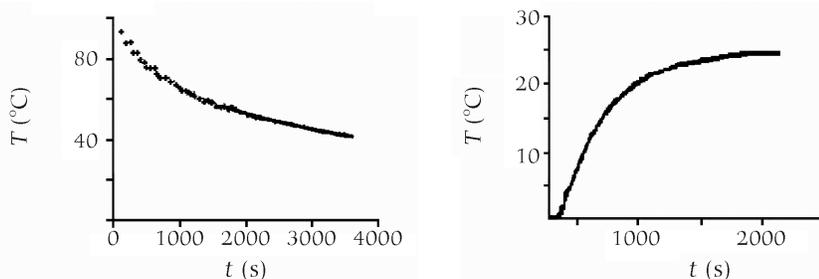


Figura 4. Curva de resfriamento (a) e aquecimento (b) de um líquido. No caso (a) o tempo total da coleta é de cerca de 1h, mas no caso (b) é de mais de 5h [21].

mouse com defeito pode ser aproveitado como sensor, bastando para isso, retirar o conjunto de fotodiodos existente no seu interior. Um conjunto de fotodiodo emissor e receptor presta-se muito bem para medidas de tempo [8, 12]. Uma atividade preliminar à aquisição automática consiste em propiciar aos alunos a oportunidade de manipular sensores e, com um multiteste, observar que a variação de intensidade luminosa, por exemplo, produz uma variação da resistência em um LDR³ ou que a variação da temperatura tem o efeito de variar a resistência de um termistor.

Sensores digitais e analógicos

Os inúmeros sensores que podem ser utilizados para a coleta de dados se dividem em dois tipos: analógicos e digitais. Os analógicos apresentam resposta contínua em uma larga faixa da grandeza física medida. Por exemplo, NTC's usuais operam na faixa de temperatura de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Já os sensores digitais podem fornecer apenas duas respostas na sua saída: ligado (nível alto) ou desligado (nível baixo). O interruptor de luz é um exemplo de sensor digital. À primeira vista, pode parecer que os sensores digitais não possuem muita utilidade na aquisição de dados, mas este tipo de sensor, se bem empregado, é muito útil para a medida de tempo, velocidade, posição, deslocamento e outras. Na família dos sensores digitais, além dos fotodiodos, há os interruptores magnéticos (também chamados de *reed-switch* ou *reed-relay*), que podem substituir com vantagens as tradicionais fagulhas utilizadas em trilhos de ar [23]. A família dos analógicos inclui termistores, microfones, potenciômetros e vários circuitos integrados.

Como conectar os sensores ao microcomputador?

O microcomputador é um equipamento eletrônico que, para ser útil, deve receber e transmitir informações ao usuário. Basicamente, todas as entradas que o computador utiliza para receber estas informações, como o *mouse*, teclado, porta de impressora, porta USB, entrada de jogos (*joystick*) e entrada de microfone podem ser utilizadas para aquisição de dados [9]. Cada uma destas portas de comunicação entre o microcomputador e o mundo externo possui características próprias que devem ser observadas cuidadosamente antes de ligar os sensores. Nas Refs. [5-13] encontram-se detalhes para a utilização de várias destas entradas.

Por que devo usar (ou não) uma interface analógico/digital (A/D)?

Para a coleta de sinais analógicos através do microcomputador há necessidade de alguma forma de conversão deste sinal para a linguagem digital, única que o microcomputador compreende. A Fig. 5 representa simbolicamente a conversão analógico-digital (A/D). O sinal analógico captado, geralmente a diferença de potencial existente entre as extremidades de um sensor, é convertido numa informação binária composta pelos bits 0 (baixo) e 1 (alto), que é coletada por uma das portas de comunicação do microcomputador com o mundo externo. A qualidade⁴ desta conversão depende do número de bits utilizados. Quanto maior a quantidade de bits, maior é a semelhança entre o sinal original, presente na entrada do conversor, e o sinal convertido para o forma-

to digital. Se desejarmos coletar dados analógicos, devemos empregar uma interface de conversão A/D para que ele seja compreendido pelo microcomputador. Felizmente, existe uma interface deste tipo em praticamente todos os computadores pessoais: a *placa de som*.

A placa de som, uma das interfaces entre o microcomputador e o mundo externo, possui no mínimo uma entrada e saída de áudio e, usualmente, uma entrada de jogos, com quatro entradas analógicas e quatro digitais, que podem ser utilizadas para aquisição automática de dados. Nas Refs. [7-9] encontram-se detalhes do circuito elétrico da porta de jogos e as respectivas conexões do conector tipo DB15.

As quatro entradas digitais podem ser conectadas a sensores digitais para medida de tempo, por exemplo. As entradas analógicas da porta de jogos possuem uma resolução de 8 bits. Isto significa que é possível medir 2^8 (256) valores distintos nesta entrada. Originalmente, cada entrada analógica da porta de jogos foi concebida para trabalhar com um potenciômetro cuja resistência varia desde zero até aproximadamente 100 k Ω . Assim, se a variação de resistência sofrida pelo sensor ao longo da experiência se aproximar de 100 k Ω , sem ultrapassar este valor, tem-se a melhor resolução para a conversão analógico/digital possível com este sistema. Neste ponto, o leitor pode perceber que estas entradas analógicas existentes no conector de *joystick*, aceitam somente sensores que se comportam como resistências variáveis, como é o caso dos NTC, PTC, LDR, e potenciômetros. Para usar outros tipos de sensores ou efetuar medidas de tensão, por exemplo, é necessária uma

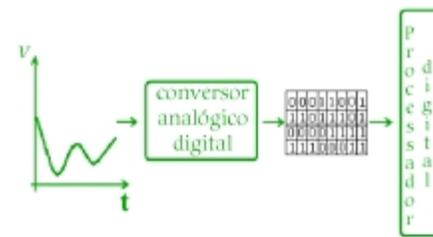


Figura 5. O sinal analógico deve ser transformado em digital para poder ser interpretado pelo computador.

interface A/D mais versátil.

Pode-se construir interfaces A/D de baixo custo

Até alguns anos atrás, a construção de uma interface analógico/digital era uma tarefa demasiadamente sofisticada para sua implementação pelo professor com pouca aptidão em montagens eletrônicas, pois os componentes envolvidos eram em elevado número e nem sempre disponíveis no comércio eletrônico local. Atualmente podemos montar uma unidade conversora A/D de baixo custo, usando apenas poucos componentes eletrônicos. A Ref. [24] apresenta uma interface que pode ser construída em minutos, pois emprega um único componente eletrônico, o

Existem diversos softwares disponíveis livremente (freeware) ou parcialmente livres (shareware) na Internet que podem ser usados para aquisição automática de dados

próprio circuito integrado (TLC548), que é um conversor A/D. O TLC548 é um conversor de 8 bits com um canal analógico de entrada com resposta entre 0 e 5 V e resolução temporal melhor do que 1 ms. Este circuito integrado pode ser ligado diretamente à entrada de impressora do microcomputador e basicamente necessita apenas da alimentação externa de 5 V para operação, simplificando a montagem. Esta alimentação pode ser retirada da entrada de jogos ou de uma bateria de 9 V e um circuito regulador de tensão de 5 V. Existem no mercado várias outras opções de circuitos integrados que podem ser adotados nesta interface.

Não conheço nenhuma linguagem de programação, e agora?

Existem diversos softwares disponíveis livremente (freeware) ou parcialmente livres (shareware) na Internet - por exemplo nas Refs. [25-30] - que podem ser usados para aquisição automática de dados. Alguns são específicos para a entrada de microfone ou a auxiliar⁵ [25-27] outros se destinam à entrada paralela [30] e outros às entradas de jogos [29]. O leitor com alguma noção de programação poderá implementar o seu pró-

prio software, usando LOGO [8, 23, 31], Visual Basic Application [12] ou consultando alguns dos códigos fontes disponíveis na rede. A indústria PICO [30] disponibiliza um software específico para o circuito integrado TLC548 (procure pelo modelo ADC10) que é distribuído livremente na web juntamente com o seu código fonte em várias linguagens, entre elas a VISUALBASIC, DELPHI, C++ e planilha Excel. Esta empresa também comercializa unidades conversoras A/D, porém o custo destas unidades é relativamente elevado em comparação com as unidades produzidas de modo artesanal.

Para fins didáticos, de particular interesse são as alternativas propiciadas por planilhas eletrônicas, pois conforme sugerem Figueira e Veit [12]:

- "são altamente ajustáveis às necessidades em vários campos de atividade, assim como na vida doméstica;
- permitem cálculos numéricos sem conhecimento de qualquer linguagem de programação ou metáfora simbólica;
- cálculos com planilhas costumam ser inteligíveis e apreciados por professores de Ensino Médio, enquanto programas escritos em linguagem de programação não têm a mesma receptividade;
- planilhas eletrônicas propiciam a construção de gráficos".

A linguagem Visual Basic Applica-

tion, que acompanha o Excel, permite que se faça a leitura da portas de jogo, tanto em sua entrada analógica quanto na digital, assim como a leitura da porta paralela (da impressora). As planilhas confeccionadas por Figueira e Veit [12] também se encontram disponíveis livremente em [32].

Comece pelo mais simples: A entrada de microfone

Se você quer ver resultados de imediato, ponha mãos à obra com um microfone e um software para leitura da entrada de áudio, como o Spectrogram [25], Goldware [26] ou o Aware Audio [27]. Além de experiências em acústica, como a medida da velocidade do som (Fig. 6) e o estudo de timbre de instrumentos musicais (Fig. 7), você poderá fazer experiências de mecânica, como medir o coeficiente de restituição em choques mecânicos (Fig. 8) e determinar a aceleração de

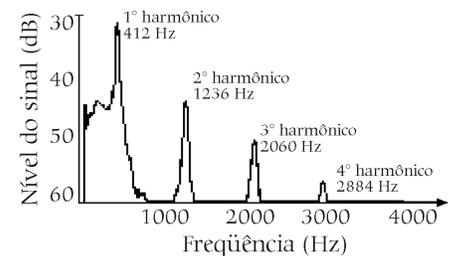


Figura 6. Espectro sonoro produzido em um tubo de PVC [10]. A identificação da frequência dos diversos harmônicos permite determinar a velocidade do som no ar. Cavalcante & Tavolaro discutem em detalhe esta experiência [16].

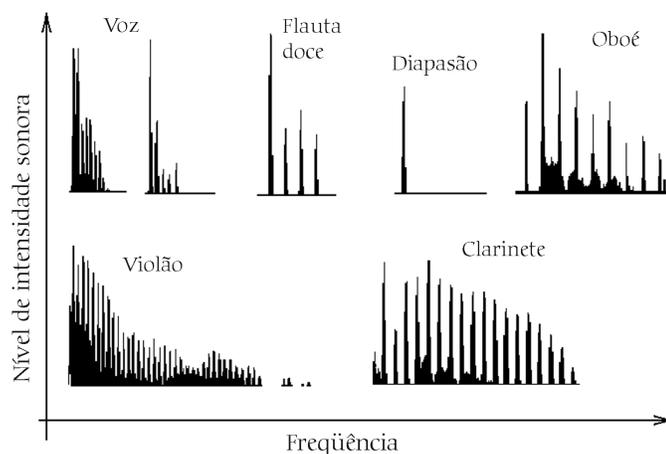


Figura 7 Espectros sonoros de uma mesma nota musical mostram que os instrumentos musicais vibram em várias frequências distintas ao mesmo tempo e que a composição destas frequências, cada uma com sua intensidade característica, é o que define o timbre. Espectros obtidos com o software Spectrogram [24], apresentados na Ref. 10.

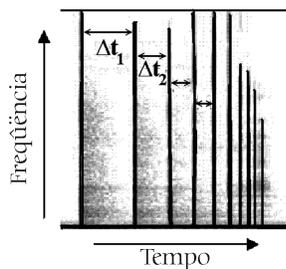


Figura 8 Espectro sonoro de uma bolinha que, largada de certa altura, quica no chão. A partir do intervalo de tempo entre duas colisões sucessivas é possível medir o coeficiente de restituição na colisão. Detalhes na Ref. [13].

queda de um corpo ou a velocidade de uma bola de futebol, que é jogada contra uma parede [9] ou, ainda, investigar a Lei de Faraday-Lenz.

Outros exemplos ilustrativos

Determinação da velocidade do som no ar: dois microfones conectados à entrada auxiliar do microcomputador detectam um sinal sonoro (som da batida de uma colher em uma tampa de panela). Como os microfones estão situados a diferentes distâncias da fonte geradora do som, um dos microfones detecta o som antes do outro, conforme pode ser visto na Fig. 9. Detalhes são discutidos por Grala e Oliveira [18].

Determinação da pressão de vapor saturado: uma quantidade de água (álcool) é colocada em um recipiente hermeticamente fechado e a pressão de vapor é medida em função da temperatura. Pode-se observar na Fig. 10 que para um mesmo valor de temperatura, a pressão de vapor é maior para o líquido mais volátil, no caso o álcool. Sias e Ribeiro-Teixeira [33] discutem as situações físicas

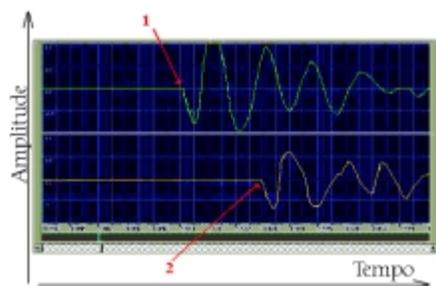


Figura 9. A onda sonora chega no microfone 1 antes de chegar no 2. A medida deste intervalo de tempo permite determinar a velocidade do som no ar [18].

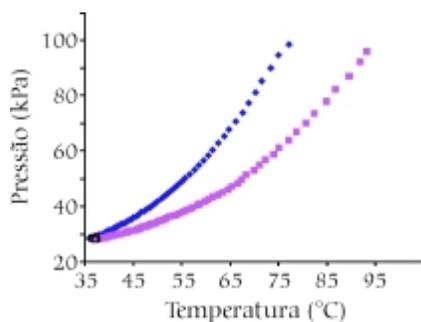


Figura 10. Pressão de vapor para o álcool (azul) e água (cor de rosa) em função da temperatura, obtido com um CBL (*Calculator Based Laboratory*) [33]. Os dados foram coletados com um intervalo de 1 min, durante 1 h.

representadas por pontos fora da curva, assim como o significado de umidade relativa e de sua medida [33]. Os dados foram coletados com um sistema de aquisição automático (CBL - *Calculator Based Laboratory*).

O microcomputador também pode se usado como gerador de sinais

O microcomputador também pode desempenhar a função de um gerador de sinais, desde que se disponha de um *software* apropriado. Por exemplo, Cavalcante e Tavolaro [34] utilizam o *software Sine Wave Generator* [35], para gerar um sinal elétrico com frequência definida, que acoplado a um alto-falante, gera ondas estacionárias em cordas esticadas (veja Fig. 11).

Nem tudo são flores

O argumento usual de que a introdução do microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático de Física, minimizando o tempo necessário para a aquisição dos dados, possibilita um tempo maior para a discussão e análise dos fenômenos físicos, nem sempre é correta. Em atividades que presenciamos em sala de aula com alunos do Ensino Médio [36], este argumento mostrou-se verdadeiro nas experiências de som para as quais não era requerida montagem de sistema de detecção e o sensor utilizado era o microfone, mas não se mostrou verdadeiro em atividades em que a montagem experimental requeria um sistema de detecção óptico construído com componentes ele-

trônicos e a análise envolvia o uso do *Excel*. Os alunos desperdiceram um tempo considerável para começar a tomada de dados, pois não estavam familiarizados com os instrumentos. A nosso ver, esta é mais uma razão para se inserir atividades deste tipo, quer porque a familiarização com os instrumentos necessários ao ensino de Física é um dos objetivos das aulas de laboratório, quer porque os questionamentos levantados costumam ser frutíferos, o que dificilmente aconteceria na obtenção de medidas manuais repetitivas.

Medeiros e Medeiros [37], citando Härtel, enfatizam que “o valor educacional de uma simulação dependerá do fato de ela poder vir a representar para o estudante um papel de auxiliar heurístico e não apenas cumprir um papel algorítmico ou meramente ilustrativo”. Também no caso da aquisição automática esta colocação é pertinente. É por isto que compartilhamos da visão de vários autores [4-12] que evitam tratar o sistema de aquisição automática como uma *caixa-preta* e instigam alunos e professores para que participem ativamente de várias etapas do processo. Como um contraponto ao uso exacerbado dos tradicionais roteiros fortemente estruturados em atividades experimentais de cunho didático, consideramos indispensável a apresentação de alternativas metodológicas que enfatizem a “análise e interpretação dos resultados, a reflexão sobre as implicações destes e a avaliação da qualidade das evidências que suportam as

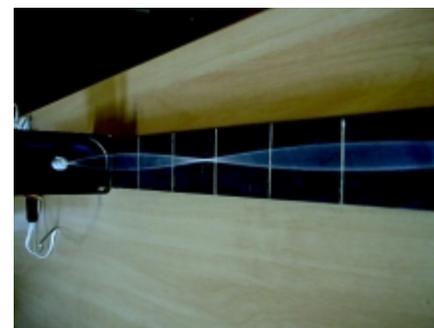


Figura 11. Onda estacionária produzida em uma corda esticada. O lado esquerdo da corda está preso a um alto-falante, que é acionado por um sinal elétrico gerado pelo microcomputador. Fotografia gentilmente cedida por Cavalcante & Tavolaro [34].

conclusões obtidas”, como destaca Borges [22].

Concluindo

Reiteramos que o uso do computador na aquisição automática de dados é recomendável em medidas que tomam muito tempo ou, ao contrário, precisam ser feitas em frações de segundo; ou, ainda, para experiências

envolvendo um grande volume de dados. Sem dúvida para estes casos, coleta automatizada se mostra de grande valia, livrando o aluno do “trabalho braçal” de anotar os resultados e permitindo que ele se concentre no entendimento da Física relevante ao experimento. Entretanto, devemos tomar cuidado para que o deslumbramento com as enormes

possibilidades fornecidas por esse tipo de ferramenta em um laboratório didático de Física não leve ao seu emprego em experiências simples (do ponto de vista operacional), apenas porque o recurso está disponível. Isto pode mascarar a Física a ser apreendida, tornando o experimento mais difícil para os alunos compreenderem do que o necessário.

Referências

- [1] S. de S. Barros, *Linguagens Leituras e Ensino de Ciências* (Ed. Mercado de Letras, Campinas, 1998), org. M.J.P.M. de Almeida e H.C. da Silva.
- [2] A. Champagne, L. Klopfer and J. Anderson, *American Journal of Physics* **48**, 1074 (1980).
- [3] R.J. Beichner, The effect of simultaneous motion presentation and graph generation in a kinematics lab. *Journal of Research in Science Teaching* **27**, 803 (1990).
- [4] D.F. Souza, J. Sartori, M.J.V. Bell e L.A.O. Nunes, Aquisição de dados e aplicações simples usando a porta paralela do micro PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **20**, 413 (1998).
- [5] M.A. Cavalcante e C.R.C. Tavoraro, Projete Você mesmo experimentos assistidos por computador: construindo sensores e analisando dados, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **22**, 421 (2000).
- [6] E. Montarroyos e W.C. Magno, Aquisição de dados com a placa de som do computador, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 57 (2001).
- [7] R. Haag, Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 176 (2001).
- [8] C.E. Aguiar e F. Laudares, Aquisição de dados usando Logo e a porta de jogos do PC, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 371 (2001).
- [9] C.E. Aguiar, *Ensino*. Disponível em: <http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/ensino.html>. Acesso em: 15 de mar. 2005.
- [10] E.A. Veit, R. Haag., R.M.R. Teixeira, I.S. Araujo e P.F.T. Dorneles, *Novas tecnologias no ensino de Física no nível médio*. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef>. Acesso em: 15 mar. 2005.
- [11] W.C. Magno, A.E.P. Araujo, M.A. Lucena e E. Montarroyos, Realizando experimentos didáticos com o sistema de som de um PC, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 117 (2004).
- [12] J.S. Figueira e E.A. Veit, Usando o Excel para medidas de intervalo de tempo no laboratório de Física, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 203 (2004).
- [13] M.A. Cavalcante, E. Silva, R. Prado e R. Haag, O estudo de colisões através do som, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 150 (2002).
- [14] A.E. Aguiar e E. Laudares, Listening to the coefficient of restitution and the gravitation acceleration of a bouncing ball, *American Journal of Physics* **71**, 499 (2003).
- [15] M.M.F. Saba e A.S. Rosa, The Doppler Effect of sound source moving in a circle, *The Physics Teacher* **41**, 89 (2003).
- [16] M.A. Cavalcante e C.R.C. Tavoraro, Medindo a velocidade do som, *Física na Escola* **4:1**, 29-30 (2003).
- [17] L.A. Mützenber, E.A. Veit e F.L. Silveira, Elasticidade, plasticidade, histerese... e ondas. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 307 (2004).
- [18] R.M. Grala e E. Oliveira, Medida da velocidade do som no ar. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/som/lab/linein/index.html>. Acesso em: 15 de março de 2005.
- [19] D.B. Sias, Guias de Laboratório: movimento. Disponível em: <http://www.cefetrs.tche.br/~denise/guias/movimento.pdf>. Acesso em: 15 de março de 2005.
- [20] Pasco. Disponível em: http://www.pasco.com/experiments/physics/february_2003/home.html. Acesso em 15 de março de 2005.
- [21] R. Haag, L.M. Oliveira e E.A. Veit, Utilizando o microcomputador para medidas de tempo no laboratório didático de Física. In: *Atas do 15º Simpósio Nacional de Ensino de Física, Curitiba. CEFET - Paraná* (2003). p. 1302-1310. 1 CD-ROM.
- [22] A.T. Borges, Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 291 (2002).
- [23] F. Laudares, M.C.S.M. Lopes e F.A.O. Cruz, Usando sensores magnéticos em um trilho de ar. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 233 (2004).
- [24] R. Haag, Utilizando novas tecnologias no ensino experimental de eletromagnetismo. In: *Atas do 15º Simpósio Nacional de Ensino de Física, Curitiba. CEFET - Paraná* (2003). p. 133-142. 1 CD-ROM.
- [25] R. Horne, *Spectrogram*. Disponível em: <http://www.monumental.com.rshorne/gram.html>. Acesso em: 23 mar. 2005.
- [26] Goldwave Inc., Disponível em: <http://www.goldwave.com/>. Acesso em: 15 de mar. 2005.
- [27] Awave Audio, Disponível em: <http://www.fmjsoft.com/aaframe.html>. Acesso em: 15 mar. 2005.
- [28] K. Zeldovich, *Software Oscilloscope for Windows95, versão 2.51*. Disponível em: <http://polly.phys.msu.su/~zeld/oscill.html>. Acesso em: 15 de mar. 2005.
- [29] I.S. Araujo, *AQDADOS V2.0: software para leitura das entradas da porta de jogos*. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/material/joystickNTC.html>. Acesso em: 15 de mar. 2005.
- [30] Pico, Disponível em: <http://www.picotech.com>. Acesso em: 15 de mar. 2005.
- [31] Núcleo de Informática Aplicada na Educação (Nied/Unicamp), SuperLogo 3.0. Disponível em: <http://www.nied.unicamp.br>. Acesso em: 15 de mar. 2005.
- [32] J.S. Figueira e E.A. Veit, Planilhas Excel para aquisição de dados. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel>. Acesso em: 15 de mar. 2005.
- [33] D.B. Sias e R.M. Ribeiro-Teixeira, Mudança de estado físico. Disponível em: <http://www.cefetrs.tche.br/~denise/guias/>. Acesso em: 15 de mar. 2005.
- [34] M.A. Cavalcante e C.R.C. Tavoraro, *kit acústica GOPEF/PUC/SP*.
- [35] M. Veldhuijzen, *SINE WAVE GENERATOR: Software gerador de sinais*. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/sinewave.zip>. Acesso em: 15 de mar. 2005.
- [36] L.F. da Silva, Uma Experiência Didática de Inserção do Microcomputador como Instrumento de Medida no Laboratório de Física do Ensino Médio. *Dissertação de mestrado, Instituto de Física, UFRGS, 2005*.
- [37] A. Medeiros, e C.F. de Medeiros, Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 77 (2002).

Notas

1. Termistor com coeficiente negativo, ou seja, quando aumenta a temperatura, diminui a resistência. Do inglês, NTC é sigla de *Negative Temperature Coefficient*.
2. Devemos ter em mente, entretanto, que este tipo de sensor não apresenta uma resposta linear ao contrário do LM35, que também é um sensor térmico, mas com resposta linear numa ampla faixa de temperatura.
3. Resistor com resistência dependente da intensidade luminosa. Do inglês, *Light Dependence Resistor*.
4. Costuma-se chamar de resolução.
5. *Line-in*.