

# Cuidados na Utilização de Sistemas de Aquisição de Dados no Ensino de Física

(Cares in the Use of Systems of Data Acquisition in Physics Teaching)

Marisa Almeida Cavalcante e Cristiane R. C. Tavoraro

*GOPEF, Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da PUC/SP*

*e Escola do Futuro da USP/SP*

*e-mail: marisac@exatas.pucsp.br, cris@exatas.pucsp.br*

*http://mesonpi.cat.cbpf.br/verao98/marisa*

Recebido em 14 de junho, 1999

Este trabalho pretende fornecer as informações básicas sobre o princípio de funcionamento de sistemas de aquisição de dados, inclusive mostrando a precisão obtida na coleta informatizada de dados. Apresentamos alguns sistemas de aquisição disponíveis no mercado, alertando os educadores da possível dicotomia entre prejuízo versus benefício que esta nova forma de experimentação pode trazer na construção do conhecimento.

This work intends to supply the basic information of the operation of the systems of data acquisition showing the precision of the computerized data collection. We present some acquisition systems available for sale and call the attention of educators to possible existent ambiguity among damage versus benefit that this new experimentation form can bring in the construction of the knowledge.

## I Introdução

Muitos trabalhos têm sido publicados (1-10) indicando de que maneira os computadores podem contribuir ativamente no processo ensino - aprendizagem. E a pergunta constante que fazemos é: Como introduzir o ensino de Física diante desta nova realidade tecnológica em que vivemos? Cursos de aperfeiçoamento têm sido realizados em diferentes Instituições e em diferentes níveis numa tentativa crescente de inserir o nosso professor neste novo contexto pedagógico.

O GOPEF (Grupo de Pesquisa em Ensino de Física) da PUC/SP tem trabalhado intensivamente nesta direção, procurando oferecer cursos de capacitação docente que visam mostrar diferentes alternativas para o uso destas máquinas. Uma das fontes de inspiração para a elaboração deste artigo foi o trabalho realizado durante a oficina *Novas Tecnologias no Ensino de Física: Experimentação Assistida por Computador*, ministrada pelo GOPEF no XIII SNEF (1999) em Brasília. Os resultados foram altamente satisfatórios, não só do ponto de vista quantitativo, mas principalmente pela contribuição que cada professor pôde trazer para esta ampla discussão sobre a utilização no ensino dos sistemas de aquisição de dados por computador.

Este trabalho visa discutir a questão relativa à aquisição de dados. Observamos, através do trabalho em oficinas com os professores brasileiros, que quando

enfrentamos este tema, o problema de adaptação é muito mais acentuado em função basicamente de alguns aspectos: (i) desconhecimento total das possibilidades que esta nova forma de experimentação pode trazer; (ii) o receio de uma nova abordagem: quando se trabalha com coleta de dados em tempo real, muitos dos modelos teóricos utilizados não são mais aplicados e as condições de contorno do “modelo” nunca são garantidas; (iii) a ausência de domínio de todo o sistema de medida que está sendo utilizado, desde os sensores até a finalização na coleta dos dados, e a respectiva representação na tela do computador (geralmente em forma gráfica); (iv) a falta de costume dos nossos professores em trabalhar pequenos projetos em sala de aula com seus alunos; (v) a ausência de uma educação tecnológica que permita ao nosso professor um maior domínio dos desenvolvimentos científicos do século XX; (vi) o mito de se atribuir a todo sistema digital uma precisão absoluta.

Estes são apenas alguns tópicos levantados. É claro que em uma discussão mais profunda sobre a dificuldade de adaptação dos professores brasileiros a esta nova tecnologia, certamente outros aspectos seriam constatados. No entanto, não é o propósito deste trabalho uma análise profunda sobre estas questões. Queremos apenas fornecer as informações básicas do princípio de funcionamento dos conversores utilizados para a aquisição de dados, e alertar para os vários problemas que podem ser causados pela desconhecimento deste

princípio.

## II Princípio de Funcionamento de Sistemas de Aquisição de Dados

Os computadores atuais<sup>1</sup> operam utilizando uma linguagem em código binário. Este código obedece à seguinte regra: só existem duas possibilidades para o estado do sistema; **0** ou **1**. Para o código **0** temos o menor valor de tensão (aproximadamente 0 V), para o código **1** temos atribuído o valor máximo de tensão, que para os circuitos normalmente utilizados é 5,0 V. Frases inteiras devem ser transmitidas utilizando estes códigos.

No entanto o mundo real utiliza uma linguagem analógica. Sentimos dor, pensamos, agimos e caminhamos em passos analógicos. Não nos comunicamos apenas utilizando dois estágios **0** ou **1**.

Os sinais elétricos variam analogicamente. Portanto se quisermos estabelecer algum contato entre o mundo externo e o nosso microcomputador, necessitamos de uma “espécie de tradutor” que fará esta conversão entre o mundo analógico e o mundo digital. Esta é a função exercida pelos conversores. A Fig. 1 representa este “processo de tradução”.

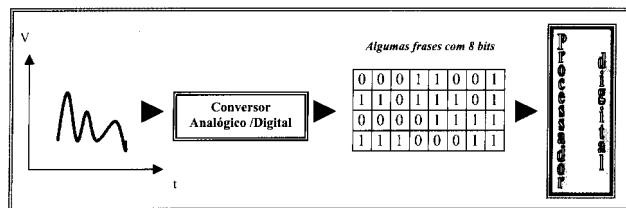


Figura 1. Ilustração de um conversor analógico digital (ADC).

Um sinal elétrico é convertido, neste exemplo, em frases de 8 bits para o processador digital. Considere que na entrada do conversor analógico-digital (mais conhecido pela sigla em inglês – ADC) tenhamos um valor de 5,0 V que deve ser convertido para frases binárias (3 bits). Devemos dividir o nosso valor de tensão que será analisado por 8 intervalos possíveis. Ou seja cada frase representará um intervalo de tensão igual a  $5/8$  V (0,625 V). O resultado está na Tabela 1. Se o valor de entrada no ADC for, por exemplo, 1,9 V a frase binária que será transmitida ao processador é a referência 4 da tabela, ou seja, 0–1–1.

Tensão (V)	Frases	Referência
0 – 0,625	0 0 0	1
0,625 – 1,25	0 0 1	2
1,25 – 1,875	0 1 0	3
1,875 – 2,5	0 1 1	4
2,5 – 3,125	1 0 0	5
3,125 – 3,75	1 0 1	6
3,75 – 4,375	1 1 0	7
4,375 – 5,0	1 1 1	8

Tabela 1. Formação de frases binárias para um ADC de 3 bits.

A Fig. 2 mostra a representação gráfica desta situação.

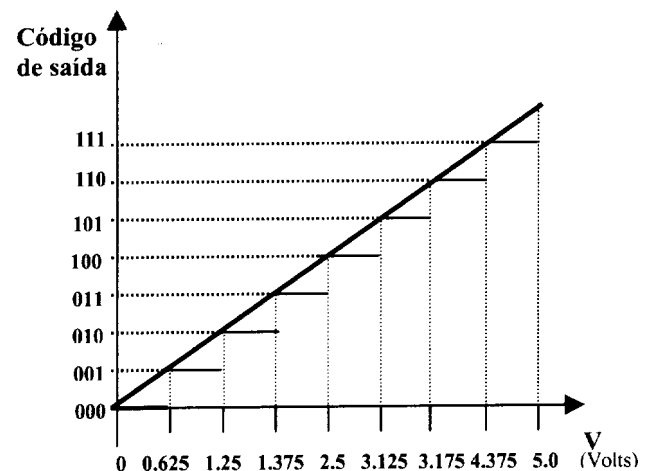


Figura 2. Código de saída versus a tensão. Observe que temos o mesmo código de saída para intervalos de tensão de 0,625 V. Em outras palavras, o sistema com 3 bits de saída não é capaz de separar informações contidas nestes intervalos.

Considere agora que o ADC tem uma saída 4 bits. Quantas frases binárias podem ser formadas? Para uma tensão de entrada igual a 5,0 V, qual deve ser o intervalo que deve ser estabelecido para cada frase binária? O número de frases binárias para 4 bits será dada por:  $2^4 = 16$ . Isto significa que dividiremos o nosso valor de tensão em 16 partes iguais. Para 5,0 V, obteremos  $\frac{5}{16} = 0,3125$ . Observe que para esta segunda opção, apresentada na Tabela 2, temos uma maior precisão para as conversões que devem ser realizadas. O intervalo de tensão para discriminação na saída torna-se menor. Percebemos então que quanto maior o número de bits que compõem a frase maior deve ser a nossa precisão na conversão do sinal de entrada.

<sup>1</sup> Os primeiros computadores funcionavam com válvulas utilizando impulsos analógicos.

Tensão (V)	Frases			
0 – 0,3125	0	0	0	0
0,3125 – 0,625	0	0	0	1
0,625 – 0,9375	0	0	1	0
0,9375 – 1,25	0	0	1	1
⇓	⇓	⇓	⇓	⇓
⇓	⇓	⇓	⇓	⇓
4,0625 – 4,375	1	1	0	1
4,375 – 4,6175	1	1	0	1
4,6175 – 5,0	1	1	1	1

Tabela 2. Formação das 16 frases binárias para um ADC de 4 bits.

Atualmente existem várias placas e até mesmo chips, disponíveis no mercado que já permitem estas conversões. A pergunta é: O que varia de uma placa para outra ou de um chip para outro? Vários parâmetros são importantes, dentre eles temos a velocidade de transmissão, o número de bits na sua saída que define a precisão na análise do impulso de entrada, os canais de entrada, o tempo de resposta, as tensões de entrada e as tensões de saída.

O número de bits na saída define, como vimos, o intervalo de tensão que será analisado em cada frase digital ou canal. No caso de **8 bits** existem  $2^8 = 256$  canais. Para 5,0 V de entrada teremos intervalos de  $\frac{5}{256} = 0,019531$  nos 256 canais ou frases binárias, sendo cada frase ou canal com resolução de  $\frac{1}{256}$  do valor da tensão. No caso de **12 bits** existem  $2^{16} = 4096$  canais. Assim cada frase binária terá uma resolução de  $\frac{1}{4096}$  do valor da tensão.

A Tabela 3 fornece um resumo das resoluções de diferentes conversores em cada caso. Observe que quanto maior o número de bits na saída do conversor maior será a resolução do sistema.

No. de bits na saída	Canais	Resolução
3	8	0,125
4	16	0,0625
8	256	0,00390625
12	4096	0,000244141
14	16384	6,10352E-05
16	65536	1,52588E-05

Tabela 3. Resolução de vários ADCs com diferentes bits de saída.

Portanto acreditamos que é extremamente importante promover esta discussão com os professores que pretendam adotar sistemas de aquisição de dados por computador em suas aulas, de modo a esclarecê-los destas diferentes resoluções. Atualmente encontramos no mercado chips que apresentam esta função de converter sinais analógicos em digitais. Estes chips apresentam diferentes resoluções, mas os mais disponíveis no mercado brasileiro e de baixo custo são os ADC com 8 bits de saída.

Baseando-se nestas informações, podemos realizar uma simulação usando o software Electronic Workbench (EWB) que é muito utilizado em projetos de eletrônica. Neste software encontramos o ADC de tecnologia CMOS<sup>2</sup> cujas características e pinagens estão mostradas na Fig. 3.

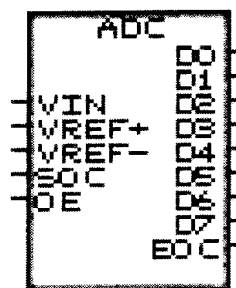


Figura 3. Características de um ADC. Os pinos D<sub>0</sub> a D<sub>7</sub> correspondem às saídas binárias (8 bits).

Para o funcionamento do conversor se faz necessário introduzirmos uma base de tempo externa (clock) e uma tensão de referencia (pinos SOC e VREF+). A conversão começa toda vez que o pino SOC (start-of-conversion) vai ao estado alto. O pino OE (output enable) também deve estar “alto” para o início do processo. A frequência de conversão (do clock), depende do tempo necessário para a conversão, limitando o sinal de entrada.

A Fig. 4 mostra uma simulação para que se possa entender as frases binárias formadas para cada tensão de entrada. A partir de um ADC de 8 bits de saída com a tensão de referência igual a 5,0 V, obtém-se uma resolução de  $(1/256) \times 5$  que corresponde a 0,019531 V para cada canal. Se aplicarmos uma tensão de entrada de 0,04 V, a frase binária corresponde a 0–0–0–0–0–1–0. Dispondo de diodos LEDs nas saídas D<sub>0</sub> a D<sub>7</sub> do conversor podemos verificar que apenas o segundo LED à direita acende.

<sup>2</sup>CMOS (Conducting Metal - Oxide Semiconductor).

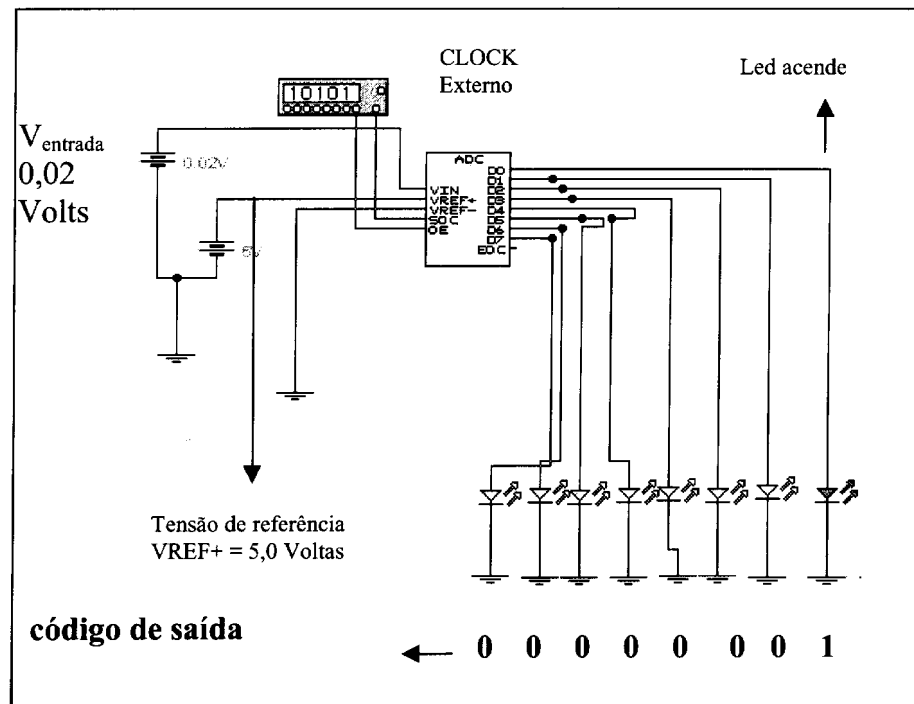


Figura 4. Simulação utilizando o software EWB.

Outro fator importante na resolução de um conversor ADC é a frequência do clock utilizado, sendo este valor limitado pelo tempo de conversão do circuito integrado.

Nos exemplos seguintes, mostrados nas Figs. 5 e 6 foram realizadas simulações para um sinal senoidal

na entrada do conversor e observamos no osciloscópio o sinal na saída do ADC. O tempo de conversão para o conversor é de  $1 \mu s$ . Assim estamos limitados a 1 MHz de frequência para o clock (este é um limite imposto pelo fabricante).

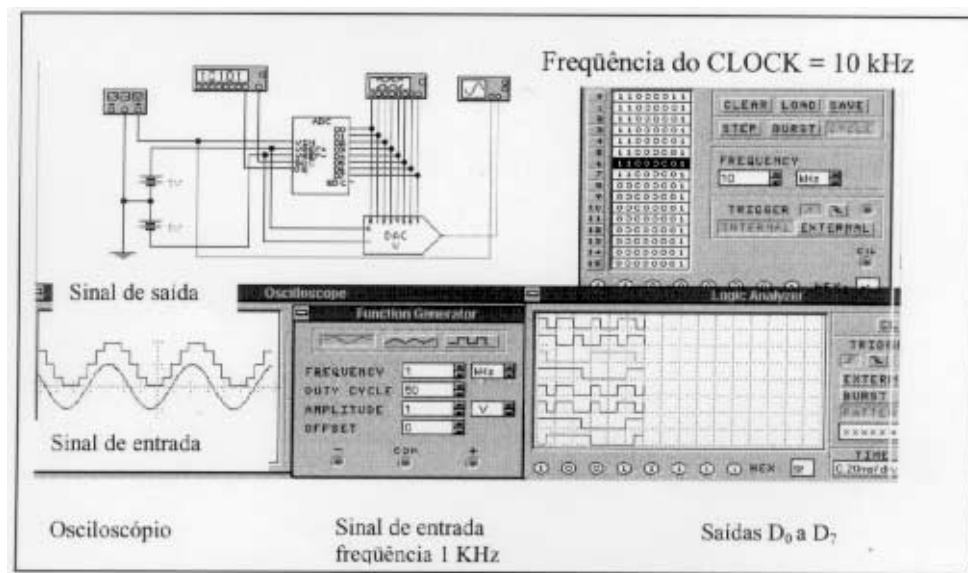


Figura 5. Ilustração dos resultados obtidos para um clock de 10 KHz.

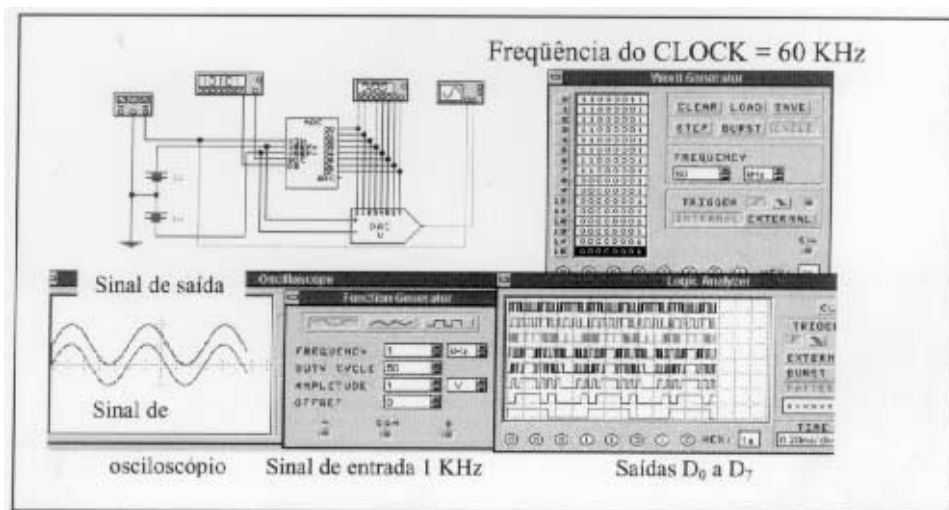


Figura 6. Ilustração dos resultados obtidos para um clock de 60 KHz, mostrando uma resolução maior para o sinal de saída.

Estes exemplos mostram claramente o princípio de funcionamento dos ADC, bem como a dependência de suas resoluções. Existem vários chips disponíveis no mercado cada vez com tempos de conversão menores e com um maior número de bits na saída permitindo maiores precisões.

Um dos chips de grande popularidade e de baixo custo (cerca de R\$ 10,00) é o ADC 808 de tecnologia CMOS da National Semiconductor<sup>3</sup>

Estes conversores são então acoplados à porta paralela do microcomputador. Para realizarmos este acoplamento devemos conhecer os pinos do conector da porta paralela cujos endereços devem ser previamente verificados LTP1 (378h, 379h e 37Ah) e LTP2 (278h, 279h e 27Ah). Estes endereços definem a pinagem que será adotada e os endereços que devem ser utilizados na elaboração do software de aquisição. A Fig. 7 mostra os pinos de ligação do conector DB25F da porta paralela (endereçamento 278h e 378h). Os pinos 1, 14, 16 e 17 são pinos de controle e os de números 18 a 25 são aterrados

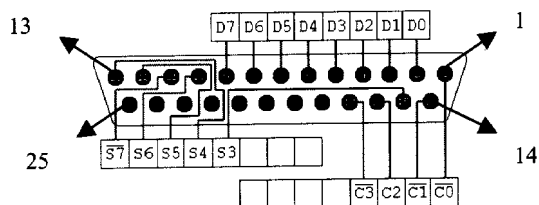


Figura 7. Disposição dos pinos de ligação do conector DB25F.

### III Processo de Aquisição de Dados

Todos os sinais de controle para o conversor e a conseqüente coleta de dados são realizados via software. Várias linguagens de programação podem ser utilizadas: Delfhi, turbo Pascal, Turbo C, Q - Basic, etc.. De qualquer forma, seja qual for a linguagem, o processo lógico envolve: (i) endereçamento, onde se deve buscar os dados; (ii) escolha da porta que você está utilizando para a aquisição; (iii) seleção da entrada analógica e o sinal de início da conversão (start); (iv) sinal do fim da conversão (o programa entra em loop e uma condição de IF, detecta este sinal de fim de conversão); (v) leitura dos dados digitais, a transformação no número de canais que está sendo utilizado (8 bits - 256 canais) e a conseqüente transformação do número digital em tensão; (vi) estas leituras vão sendo armazenadas e após o processo de medida você obtém um arquivo dos dados de tensão x tempo, do mesmo modo que você poderia obter através de um osciloscópio digital com memória.

Observe então que até este momento, o microcomputador passou a exercer a função de um osciloscópio digital com memória, onde os arquivos podem ser salvos e, o que nos compete, é efetuarmos a análise dos resultados obtidos. Esta análise pode ser realizada, também através da elaboração de software.

Este software de análise de dados pode permitir que varias operações possam ser efetuadas, tais como: (i) a transformação de um sinal que foi capturado em forma de tensão mas que representa uma grandeza física, por exemplo, temperatura. Neste caso teremos que calibrar o nosso sistema, utilizando um termômetro padrão e verificar a relação entre tensão e temperatura oferecida pelo sensor que foi utilizado no experimento; (ii) a representação gráfica da grandeza física (temperatura,

<sup>3</sup> Na Ref. 8, os autores fornecem detalhes para a construção e programação básica para aquisição, em Q-basic, de um conversor ADC 808 (8 bits). O custo total para a construção deste conversor não ultrapassa R\$ 50,00.

por exemplo) em função de diferentes parâmetros, ou relacioná-la com outra grandeza física, medida simultaneamente, através de dois canais; (iii) uma análise estatística do fenômeno; (iv) obter curvas mais prováveis para a aproximação, etc.. Estas operações assumem uma grande importância em todo o processo de medida e análise de um dado fenômeno físico. A interpretação dos resultados obtidos depende do conhecimento da função e sensibilidade dos sensores utilizados, bem como da precisão do conversor e a devida transformação da grandeza física que está sendo medida.

## IV Algumas Interfaces Disponíveis

Vamos apresentar algumas interfaces que têm sido utilizadas na área de ensino em todo o mundo e a versatilidade de alguns softwares que acompanham estas interfaces.

### IVI Interface 500 Pasco Scientific e Software de Análise - Science Workshop [12 e 13]

As características básicas são: resolução 12 bits ( 4096 canais ); dados adquiridos através da porta serial do microcomputador; taxa de contagem analógica de 500 contagens por segundo em modo contínuo; 02 entradas digitais e 03 analógicas.

O software que acompanha esta interface é extremamente interativo e de fácil operação permitindo obtenção de diferentes gráficos e análises estatísticas. Vários sensores podem ser utilizados e a Pasco Scientific oferece todos estes sensores já calibrados e portanto a função do operador é coletar os dados em diferentes condições de contorno e efetuar o estudo do fenômeno físico em detalhes.

Alguns sensores estão relacionados à temperatura, pressão, força, intensidade magnética, PH, e mais photogates, sensores de posição, sensores de radiação gama, contadores Geigers - Müller, sensor de rotação, sensores de luz, etc..

### IVII Interface Universal da Vernier Software [14]

Esta interface é semelhante a da Pasco Scientific, incluindo o software que acompanha, até porque, a Vernier e a Pasco Scientific efetuaram um trabalho conjunto durante um bom tempo.

As características gerais são: resolução 12 bits (4096 canais); dados adquiridos através da porta serial do microcomputador; amostras acima de 10000 contagens/s; 4 entradas analógicas e 2 entradas digitais. O software que acompanha esta interface também é altamente interativo, apresentando alta versatilidade.

O conjunto de sensores também é bastante amplo permitindo abordar todos os campos da Física.

## IVIII Interface Cobra da Phywe [15]

Esta interface é altamente versátil e permite abordar todos os campos da Física, ampliando a sua capacidade de atuação através de módulos acoplados, que permitem medir desde temperatura até o acoplamento de contadores Geiger - Müller. Estes módulos funcionam como sensores nas duas interfaces apresentadas cujos sinais são adaptados adequadamente para a interface Cobra.

Além disso, esta interface apresenta 8 entradas digitais simultâneas, podendo acoplar "photogates" e 4 entradas analógicas sendo duas destinadas a medir tensões variáveis de  $\pm 100$  mV a  $\pm 100$  V. Existe ainda duas saídas analógicas controláveis de 0 a  $\pm 10$  V

As características básicas são: resolução 12 bits ( 4096 canais); dados adquiridos através da porta serial do microcomputador; amostras acima de 20000 contagens/s; 8 entradas digitais que podem ser utilizadas para controle de processo programável. Cada unidade básica de controle apresenta um software específico, todos com excelente grau de interatividade e possibilidades de trabalho.

## V Situação no Brasil

Até o momento apresentamos o princípio de funcionamento de conversores e algumas interfaces que apresentam softwares de análise de dados, que podem fazer milhares de ajustes permitindo que um trabalho brilhante de pesquisa possa ser realizado, na própria sala de aula. A coleta em tempo real de dados garante ao aluno que ele possa não apenas resolver problemas que lhe são apresentados, mas criar outros tantos. O professor passa a ter uma postura de orientador em sala de aula. Estamos em um Paraíso!

No entanto, cabe aqui uma observação muito importante. Quando trabalhamos com os benefícios da tecnologia, corremos o risco de nos perdermos na riqueza dos dados que podemos obter e esquecermos de algo muito mais importante, que é o domínio que o experimentador deve ter sobre todo o seu sistema de medida. Todos os pesquisadores sabem o quanto é importante este domínio. Só através da conquista de uma grande intimidade com o equipamento é que teremos a garantia de novas descobertas.

Não é preciso ser pesquisador para saber que esta conquista é fundamental, pois a verdadeira cidadania só se faz mediante o domínio da linguagem do seu tempo. Nosso papel enquanto educadores é permitir, cada um na sua área de atuação, inserir no cotidiano dos seus alunos a importância da conquista do seu espaço e do conhecimento do verdadeiro papel que cada um de nós

representa nesta sociedade. Há uma necessidade premente de consciência política de atuação.

O nosso país necessita urgentemente que o processo educacional exerça o papel que lhe compete. E não poderia ser diferente com a Física. Principalmente porque através do conhecimento científico adequado é que poderemos participar de uma forma atuante na tão questionada globalização, caso contrário o nosso trabalho será apenas de uma mão de obra barata.

Vemos portanto, que esse domínio das diversas formas de linguagens contemporâneas e tecnológicas se faz necessário para a conquista de nossa autonomia enquanto pessoa e enquanto nação. Não basta apertar botões é preciso entender o processo. Não se trata de reinventar a roda, como talvez alguns diriam, mas sim a busca da nossa identidade.

Este artigo não pretende trazer soluções mas levantar estes tópicos que acreditamos fazem parte de uma discussão muito mais ampla e abrangente, da importância do domínio tecnológico destes sistemas de aquisição de dados, que se adaptam perfeitamente à realidade dos países de origem, mas que não são de modo algum adaptáveis, tão facilmente e tão diretamente à nossa realidade.

É preciso um trabalho de capacitação docente eficaz, que lhe mostre todo o mecanismo operacional e lógico, desde a captação de um sinal através de um sensor até a análise e tratamento de dados.

É importante que se diga que não somos contrários à importação de interfaces e sensores, o que seria um radicalismo absurdo, nos isolando da evolução tecnológica já disponível no mercado mundial. No entanto, a sua utilização deve acontecer de forma consciente, é preciso saber como estes sistemas funcionam, é preciso dominá-los, pelo menos com relação aos princípios básicos associados ao seu funcionamento, conhecendo seus limites e resoluções.

## VI Oficina no XIII SNEF

A Oficina, promovida pelo GOPEF, não pretendia abordar profundamente o mecanismo de funcionamento de conversores, mas mostrar que podemos fazer o tratamento de dados obtidos através de um ADC, envolvendo o professor desde a construção do sensor utilizado na medida, até o ajuste de todo o equipamento, de tal forma que os resultados pudessem ser comparáveis àqueles obtidos por sistemas já conhecidos no mercado mundial.

Deste modo em primeiro lugar exploramos um equipamento disponível (interface 500 da Pasco Scientific) para a determinação de coeficiente de atrito de contato entre uma superfície plana e um carrinho de massa conhecida. A Fig. 8 ilustra o arranjo experimental. A polia utilizada na montagem é o sensor Smart Pulley da Pasco. Trata-se de uma polia de baixo atrito adaptada

entre os terminais de um photogate, como mostrado na Fig. 9, de tal forma que ao girar os sinais são enviados para a interface.

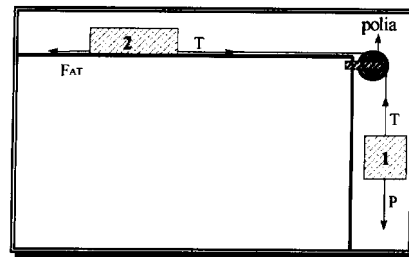


Figura 8. Arranjo experimental para medida de coeficiente de atrito.

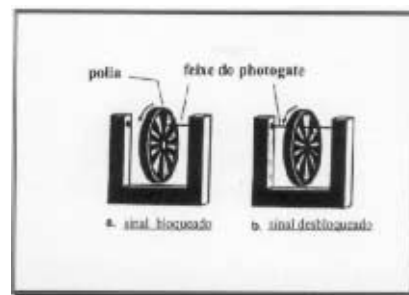


Figura 9. Polia e photogate usados na experiência da Fig. 8.

Cada grupo fez a aquisição de dados e cada arquivo foi salvo em um diretório da rede para que fosse acessado individualmente. Os professores inicialmente usavam o painel gráfico do Science Workshop e trabalhavam os dados obtidos. Nesta atividade inicial perceberam a amplitude com a qual poderiam abordar o tema, alterando as condições de contorno e verificando como o conhecimento pode ser construído através de sistemas de aquisição de dados. No entanto nota-se que sistemas, como este da Pasco Scientific, apesar de fascinantes e com um software altamente amigável (permitindo uma análise gráfica, estatística e numérica dos dados), apresentam uma tecnologia toda própria e absolutamente imutável. Nesta Oficina, percebemos um grande encantamento dos professores na descoberta desta tecnologia, mas ficou transparente o total desconhecimento no processo envolvido na aquisição de dados. Inclusive foi denominada pelos próprios professores como uma “bela caixa preta”.

Com o objetivo de tentar abrir esta “bela caixa preta” passamos a questionar todas as funções que devem ser exercidas por um sistema de aquisição de dados e chegamos à conclusão de que, se tivéssemos um osciloscópio com memória, poderíamos salvar os dados de tensão  $\times$  tempo em um arquivo de extensão do tipo .txt ou .dat e proceder ao processo de análise de dados.

O conhecimento do processo de conversão do sinal é fundamental, ou seja devemos saber a correspondência real entre o valor de tensão lida pelo “osciloscópio” e a grandeza física a ser medida. Para isto devemos saber o princípio de funcionamento do sensor que está sendo utilizado, bem como o método que será desenvolvido.

A experiência proposta, como desafio, foi a determinação da aceleração da gravidade e para isto propomos uma atividade inicial, bastante simples, para que os professores pudessem ter contato com o sensor que seria utilizado. Nesta atividade o professor constrói o circuito eletrônico como mostrado na Fig. 10, em uma caixa de filme com plugs. Este procedimento está apresentado na Fig. 11. A corrente no circuito depende da incidência de luz sobre um LDR que foi conectado a um

resistor de 1 ou 2,2 K $\Omega$ . Um voltímetro mede a queda de potencial na resistência, cujo valor será proporcional à intensidade luminosa. Os professores puderam então verificar a relação entre a intensidade de luz e a distância da fonte de luz (lanterna) ao sensor<sup>4</sup>.

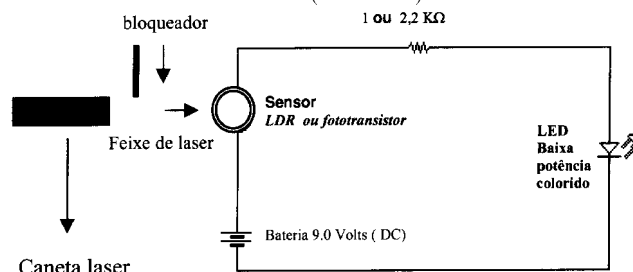


Figura 10. Diagrama do circuito eletrônico para o sensor LDR.

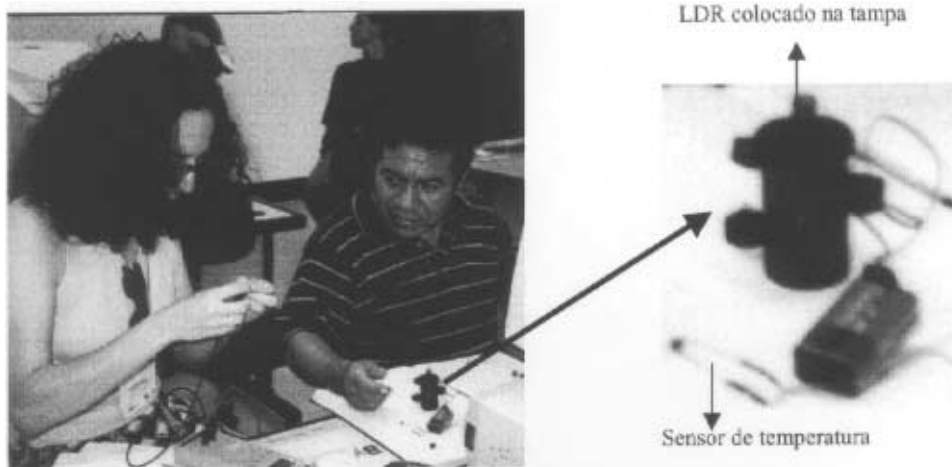


Figura 11. Montagem do sensor a ser utilizado na determinação da aceleração da gravidade. À direita, detalhes da caixa de filme onde a montagem é feita.

A medida da aceleração da gravidade foi realizada utilizando os sensores e interface da Pasco Scientific<sup>5</sup> e, em seguida utilizando um sensor LDR com um apontador laser, cujo custo operacional total é da ordem de R\$ 12,00. Este procedimento permitirá uma comparação entre os dois sistemas de medida.

Quando o bloqueador passa entre o feixe laser e o sensor, a corrente no circuito diminui acentuadamente, apagando o LED de baixa potência, gerando portanto um pulso praticamente quadrado. Como resultado, temos então um fotogate.

A montagem foi realizada tendo como suporte para o sensor uma caixa de filme, que fatalmente iria para o lixo. Esta montagem permite trocarmos os sensores, caso se queira.

A partir da construção do sensor passamos à coleta de dados, através do sistema da Pasco e através do

nosso sistema.

Para transformar o nosso microcomputador em um osciloscópio de armazenamento utilizamos o ADC 100 (e/ou ADC 42 da Impac; linha Pico Technology (15) com resolução de 12 bits). O software que acompanha o ADC é facilmente manipulável e permite tanto uma análise gráfica, quando a obtenção de um arquivo de extensão .txt, que pode ser transferido para o Excel ou qualquer outro software gráfico.

Para a determinação da queda livre utilizamos o sensor LDR com uma incidência constante de um feixe proveniente da caneta laser. Na passagem entre o sensor e a caneta lançamos uma placa<sup>6</sup> conforme ilustrado na Fig. 12. Ao introduzirmos a placa obtivemos o resultado apresentado na Fig. 13.

<sup>4</sup>No Colégio de Aplicação da UFJF, professores de matemática têm utilizado este sistema para auxiliar no estudo de funções.

<sup>5</sup>Um sensor similar ao da Pasco Scientific, produzido pela Vernier Software, com operação na região infravermelha - Photogate código RPG-DG - custa U\$ 48.00 sem taxas de importação (14).

<sup>6</sup>Esta placa pode ser construída pelo usuário, tomando-se o devido cuidado para garantir, que nesta construção, as distâncias entre as faixas escuras e transparentes sejam constantes.



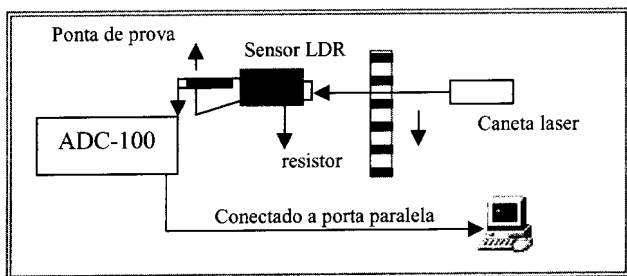


Figura 12. Diagrama esquemático do aparato experimental com a introdução de uma placa entre a caneta e o sensor.

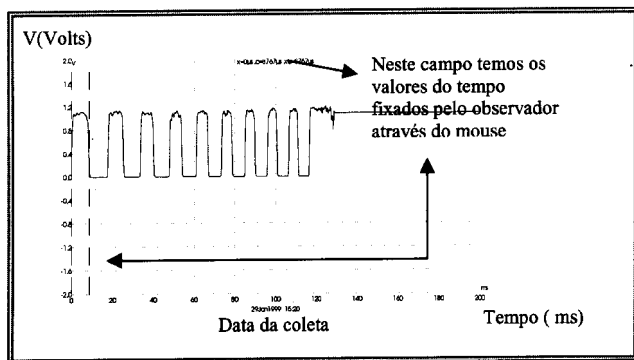


Figura 13. Curva da tensão versus tempo obtida ao se introduzir a placa.

A Tabela 4 indica os tempos obtidos, através da representação gráfica do software que acompanha o ADC em relação ao tempo inicial. Esses valores são obtidos apenas clicando o mouse na escala de tempo para o valor de tensão que se deseja.

Tempo (ms)	Nível de Tensão	Sensor LDR Bloqueado (B) Desbloqueado (D)
8,49	Alto	D
18	Baixo	B
25,4	Alto	D
33,6	Baixo	B
40,5	Alto	D
47,3	Baixo	B
53,9	Alto	D
60,8	Baixo	B
66,8	Alto	D
73,1	Baixo	B
79,1	Alto	D
84,9	Baixo	B
90,4	Alto	D
96,4	Baixo	B
99,8	Alto	D
105,0	Baixo	B

Tabela 4. Valores dos tempos obtidos para cada nível de tensão desejado.

Para a análise e construção gráfica do deslocamento em função do tempo para a queda da placa, o professor mede os valores de espaço percorrido para cada instante como descrito na Fig. 14.

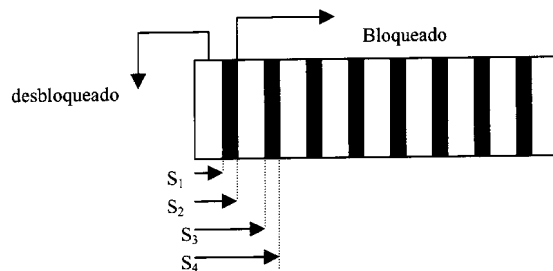


Figura 14. Desenho da placa mostrando as regiões opacas (transparentes) que bloqueiam (deixam passar) o feixe de luz.

Observe que, para o primeiro intervalo de tempo, a distância percorrida pela placa é  $S_1$ , para o segundo intervalo de tempo a distância percorrida é  $S_2$  e assim sucessivamente. No entanto, para o sistema de coleta de dados foi fixado um trigger (gatilho) de 300 mV na subida do impulso. Portanto somente depois de ultrapassado o espaço contido entre  $S_1$  e  $S_2$  é que o sinal lógico irá subir. Consequentemente “perdemos” a detecção da primeira faixa transparente. Estas medidas foram efetuadas com um paquímetro, com limite de calibração (11) de 0,05 mm.

Os resultados estão apresentados na Fig. 15. Observe que o ajuste obtido através do software gráfico<sup>7</sup> utilizado, não parte do ponto da origem. Este ponto de registro inicial depende das condições do trigger fixado pelo experimentador. Esta é uma informação muito importante que o professor deve conhecer, para evitar conclusões errôneas sobre os dados obtidos. No entanto como que se nota na ‘inserção’ da Fig. 15 a posição inicial assume um valor negativo. Tal resultado não é previsto no experimento, a menos que algum ruído tenha disparado o sistema. Independentemente da causa que deu origem a este disparo, concluímos durante o processo de análise, que este resultado é irrelevante, uma vez que o desvio em relação à posição inicial é da ordem de  $10^{-5}$ . Desvio este, muito menor que os erros obtidos para a aceleração da gravidade.

É importante ainda enfatizar que, em um processo de análise de resultados, estas questões devem ser exploradas, pois caso contrário podemos criar o mito de que, tudo aquilo que um software de ajuste de curvas efetua corresponde à realidade do fenômeno que está sendo estudado.

<sup>7</sup>O software utilizado foi o Graphical Analysis da Vernier Software e, não permite que o usuário possa fixar previamente pontos obrigatórios para a curva. Devemos pois analisar a viabilidade real de se obter alguns coeficientes indicados na curva de regressão.

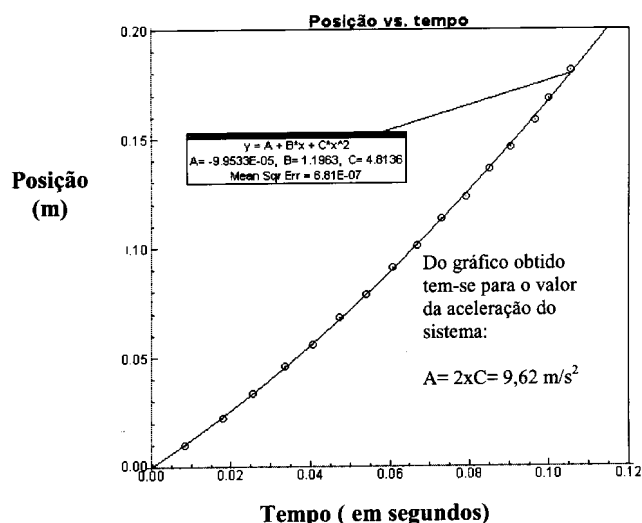


Figura 15. Posição como uma função do tempo indicando uma aceleração da gravidade de  $9,62 \text{ m/s}^2$ .

As mesmas medidas, efetuadas com o sistema da Pasco Scientific (software e hardware), estão mostradas na Fig. 16. Do mesmo modo que no sistema anterior, a interface da Pasco Scientific também estabelece uma dada condição de trigger que altera diretamente o valor obtido para a posição inicial. O software utilizado para a análise dos dados que acompanha a interface (Science Workshop) não permite fixar pontos obrigatórios para o ajuste gráfico. No entanto, o valor negativo para a posição inicial, corresponde a um desvio insignificante de  $10^{-5}$  em relação à posição inicial igual a zero.

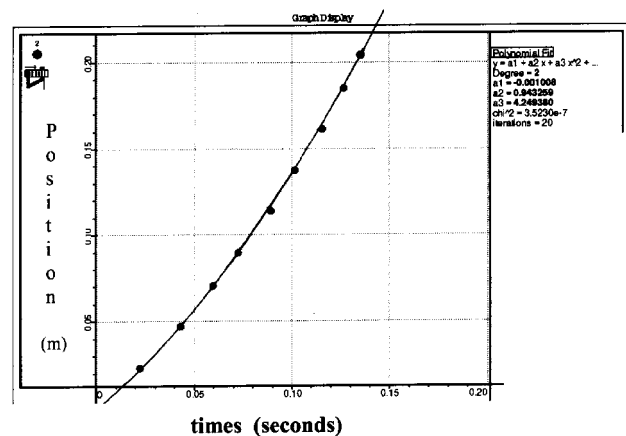


Figura 16. Curva obtida com o software da Pasco com uma aceleração de  $8,48 \text{ m/s}^2$ .

No entanto, quando procedemos à análise do sinal lógico diretamente do sensor da Pasco, obtemos uma curva posição  $\times$  tempo mostrada na Fig. 17.

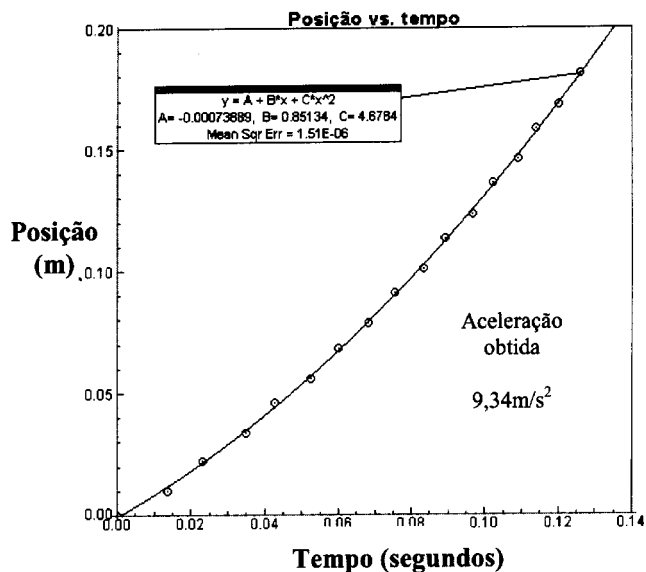


Figura 17. Curva obtida diretamente da análise do sinal lógico para o photogate que indica uma aceleração de  $9,34 \text{ m/s}^2$ .

## VII Análise dos Resultados

A primeira questão óbvia que surgiu durante o nosso trabalho com os professores foi a seguinte: Por que há uma divergência entre os valores obtidos para a aceleração da gravidade utilizando o mesmo sensor através do software Science Workshop, que acompanha a interface da Pasco, e o valor encontrado quando efetuamos uma análise do sinal lógico emitido pelo sensor? (Figs. 16 e 17) Fomos buscar explicações na forma através da qual os dados foram compostos em cada caso. Nota-se inicialmente que a quantidade de pontos obtidos representados nestes gráficos são bastante diferentes. Isto se deve ao fato de que o software Science Workshop estabelece uma condição, específica e imutável, para a medida do tempo. O tempo medido corresponde ao tempo necessário para percorrer sempre a mesma distância, como indicado na Fig. 18.

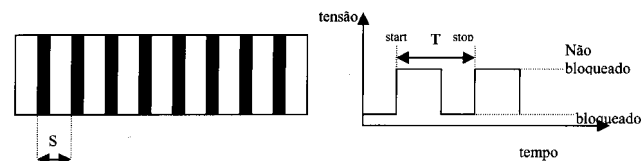


Figura 18. Esquema para se obter a informação de bloqueios/desbloqueios sucessivos.

A distância  $S$  é fixada pelo usuário no software, como uma condição inicial (caso a placa<sup>8</sup> tenha sido construída), quando se pretende obter a informação  $S \times t$  através de bloqueios e desbloqueios sucessivos.

<sup>8</sup> A Pasco oferece uma placa cujas distâncias são conhecidas com um elevado grau de precisão (menor que 1%), chamadas de "Picket Fences". A questão é se a utilização de um sistema fechado e que conduz a altas precisões, realmente leva o aluno a saber o que está fazendo ou ser estimulado a pensar? E qual seria o papel do professor neste caso?

Esta distância passa a ser um parâmetro constante e invariável (imposição fixada pelo software Science Workshop). Isto implica em uma redução no número de pontos e conseqüentemente uma maior incerteza para o valor da aceleração (ver Fig. 16). No entanto, quando se efetua a análise do sinal lógico podemos trabalhar com todas as distâncias envolvidas, o que amplia a amostra (ver Fig. 17). Nossa conclusão é que devemos buscar uma autonomia para escolher como desejamos trabalhar, quais intervalos de tempo e espaço desejamos fixar, etc..

Acreditamos que o trabalho desenvolvido nesta Oficina, representou sem dúvida uma conquista muito importante do professor. Ele construiu o sensor, elaborou o método de medida, fez a aquisição de dados, analisou os resultados, escolhendo uma forma que lhe conduzisse a uma maior coleção de dados, permitindo um desvio estatístico menor nas medidas. Um dos aspectos mais importantes é que no experimento onde o sensor utilizado foi o LDR, construído por ele, ou seja, em um processo totalmente artesanal, (Fig. 15), os resultados foram mais satisfatórios, quando comparados com o sistema de medida internacionalmente reconhecido como o da Pasco.

Devemos salientar que outras opções foram sugeridas, tais como: a medida da velocidade de passagem das faixas opacas e um gráfico obtido diretamente da velocidade em função do tempo; a exploração das alterações que podem ser verificadas para diferentes lançamentos da placa com diferentes alturas e diferentes condições de trigger, dentre outras. Um amplo leque de propostas e soluções para diversas investigações foi apresentado e discutido durante a Oficina.

## VIII Conclusão

Com os dados obtidos neste trabalho podemos concluir que os erros importantes na determinação da aceleração da gravidade não são decorrentes do processo de digitalização, mas sim de outros que devem ser investigados.

Isto mostra que nem sempre as novas tecnologias aplicadas em medidas físicas são sinônimo de alta precisão. Na verdade se faz necessário uma análise do método como um todo. Devemos portanto, estar atentos a esta aparente incoerência de resultados. Podemos questionar vários aspectos do tipo: Tenho um bom equipamento, mas o resultado está insatisfatório, o que está ocorrendo? Vale a pena informatizar um laboratório de medidas físicas, mesmo obtendo-se resultados como os obtidos neste trabalho?

Na nossa opinião, a resposta é sim. Em sistemas de coleta em tempo real, podemos repetir o experimento em diferentes condições de contorno (7) (já que a aquisição se processa em segundos) e, buscar juntos, alunos e professores, a maior fonte de erros no experimento. Isto implica em criarmos um ambiente de in-

vestigação científica em sala de aula. A discussão dos fatores que influenciam a obtenção de erros experimentais, incompatíveis com o sistema de medida adotado, é altamente relevante na relação ensino- aprendizagem. Este ambiente de investigação criado em sala de aula vem atender às determinações da nova Lei de Diretrizes e Bases, que visa preparar melhor os indivíduos para o exercício pleno de sua cidadania (7).

Não podemos esquecer que na história da Física, existem inúmeras situações de resultados inesperados que conduziram a grandes descobertas científicas (estes resultados inesperados na época foram considerados por muitos pesquisadores como erros de observação). Afinal o “acidente de Becquerel” ao guardar em uma gaveta chapas fotográficas sensibilizadas por sais de Urânio conduziu à descoberta da radioatividade. Assim sendo, tanto na pesquisa pura quanto no ensino, os acidentes/erros são fatores importantes para a construção do conhecimento científico.

A partir destas observações, procuramos mostrar aspectos relevantes quando se trata da implantação de uma nova tecnologia no Ensino de Física.

É claro que não podemos ficar a margem de todo o desenvolvimento tecnológico mundial. Muito pelo contrário, devemos nos preparar para enfrentarmos conscientemente estas grandes mudanças que já estão invadindo nossas salas de aula. Este preparo se faz antes de tudo, aceitando os nossos limites e cada vez mais superando-os.

Nossos professores devem perceber a importância no domínio desta nova tecnologia. Como vimos neste trabalho, não é preciso ser um grande programador ou um excelente conhecedor de hardware, para compreendermos os mecanismos básicos de funcionamento de sistemas de aquisição de dados informatizados. Somos físicos, e acima de tudo educadores, que têm como uma das funções esclarecer nossos jovens da real importância em traçar o próprio caminho.

Assim como um consumidor deve ter conhecimento do que significa aquela unidade “Watts” em um papel atrás da geladeira que ele comprou, um professor hoje, que deseja informatizar o seu laboratório deve ter noções básicas das resoluções de conversores bem como da aplicabilidade dos sensores, de modo a otimizar os equipamentos eventualmente adquiridos sob sua orientação ou ainda quiçá, construídos através de projetos educacionais na escola em que trabalha.

Finalmente, gostaríamos de agradecer a todos os professores que participaram da Oficina e que contribuíram para a elaboração deste artigo.

## References

- [1] FAGUNDES, D. SARTORI, J. CATUNDA T. NUNES L. A., Rev. Bras. Ens. Fis., **17**, 196 (1995).
- [2] MACLEOD, A M., Phys. Educ. **29**, 46 (1994),

- [3] SILVA, P. R., Rev. Bras. Ens. Fis., **17**, 182 (1995).
- [4] GONÇALVEZ, W.M., HEINRICH, A .F. & SARTORELLI, J.C. Rev. Bras. Ens. Fis. **13**, (1991).
- [5] TRINDADE, J A.A, FIOLEHAIS C. *A realidade Virtual no Ensino e na Aprendizagem da Física e da Química*. [http://www.fis.uc.pt/Read\\_c/RV/Ensino/artigo.htm](http://www.fis.uc.pt/Read_c/RV/Ensino/artigo.htm).
- [6] CAVALCANTE M.A, TAVOLARO C. R. C., Caderno Catarinense de Ensino de Física, **14** (3) 246 (1997).
- [7] CAVALCANTE M.A., TAVOLARO C.R.C. SILVA, E.; CAETANO, C.S.A., Rev. Bras. Ens. Fis., **21**, 127 (1999).
- [8] D. F. SOUZA, J. SARTORI, M.J.V.BELL E L.A NUNES, Rev. Bras. Ens. Fis., **20**, 413 (1998).
- [9] CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO C.R.C., SILVA E., CAETANO, A S. C., *Proposta de um laboratório didático em microescala assistido por computador*. VI EPEF - de 26 a 30/10/98 em Florianópolis. Livro de resumos pp. 320 à 323.
- [10] CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C.R.C., *Transformando o seu PC em um instrumento virtual de medidas físicas e fazendo você mesmo a análise e tratamento de dados*. XIII SNEF de 25 a 29/01/1999, Brasília, DF.
- [11] VUOLO, I.H., *Fundamentos da Teoria dos Erros*, Edgard Buchen Ltda, pp 120-126, (1992).
- [12] <http://www.pasco.com/html-bin/computer/SW500.htm> // Informações sobre a interface 500 da Pasco Scientific.
- [13] <http://www.pasco.com/software/>. Neste site você pode fazer um “download” do software que acompanha a interface - Science Workshop.
- [14] Catálogo Vernier Software - Science Hardware and Software for Computers and CBL - 1999 pp. 27 e 36.
- [15] Catálogo Geral 3.24 da PHYWE - Física, p. 420 - PHYWE SYSTEM GMBH - Göttingen/Alemania.
- [16] Catálogo de Produtos da Impac, p. 4