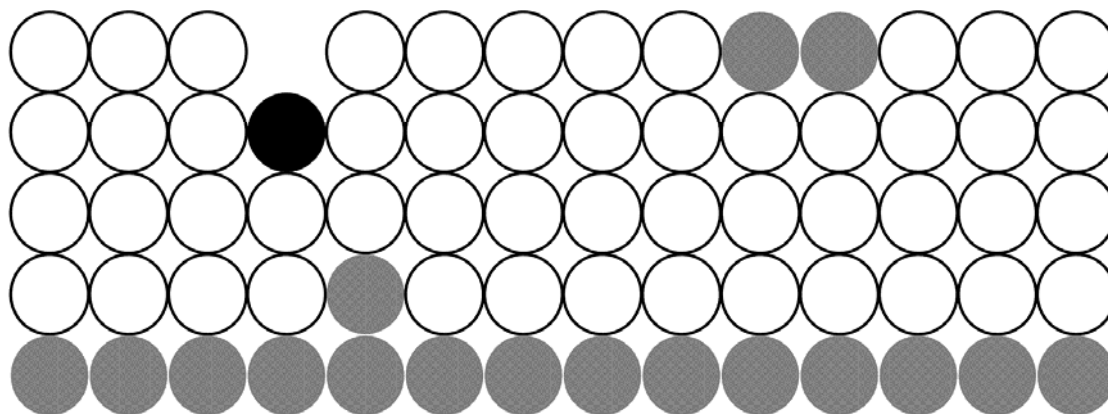


TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

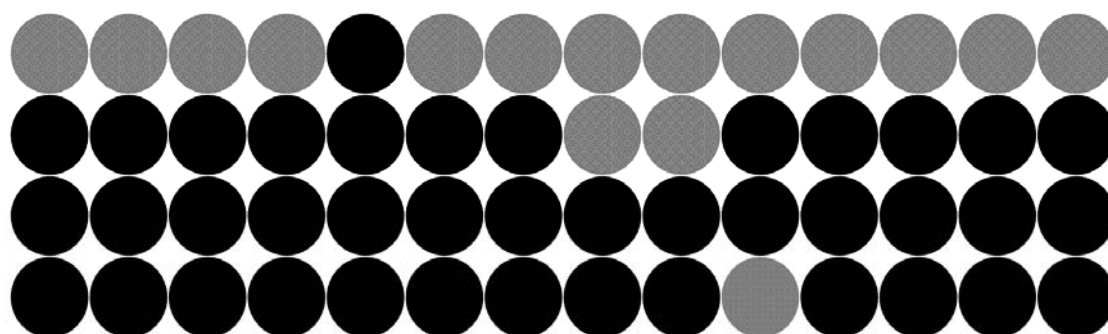
v.16 n. 2 2005

ISSN 1807-2763



O microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático de Física

Lucia Forgiarini da Silva
Eliane Angela Veit



Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Textos de Apoio ao Professor de Física, v. 16 n. 2, 2005.

Instituto de Física – UFRGS

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Editores: Marco Antonio Moreira

Eliane Angela Veit

CIP-Brasil. Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

(Mara Kuse; CRB 10/1470)

S586M SILVA, LUCIA FORGIARINI DA

O microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático da Física / Lucia Forgiarini da Silva, Eliane Angela Veit. – Porto Alegre : UFRGS, Instituto de Física, Programa da Pós-Graduação em Ensino de Física, 2005.

96 p. : il. (Textos de apoio ao professor de física / Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v.16 n.2)

1. Aquisição automática: Programas de Computador. 2. Instrumentos de Medida. 3. Ensino Médio. I. Veit, Eliane Angela. II. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Física. Programa da Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título. IV. Série.

PACS 01.50.Pa

Impressão: Waldomiro da Silva Olivo

Intercalação: João Batista C. da Silva

APRESENTAÇÃO

Caro professor,

neste texto apresentamos um conjunto de atividades de laboratório (cinco) a serem exploradas com estudantes do ensino médio. Em todas estas atividades o microcomputador é parte indispensável do processo porque um dos nossos objetivos é relacionar atividades desenvolvidas em sala de aula com instrumentos e técnicas atuais, utilizadas no cotidiano do aluno. Iniciamos apresentando princípios fundamentais sobre aquisição automática de dados, a fim de dar condições para o desenvolvimento, não somente das atividades propostas em capítulos posteriores, como de novas atividades, a serem criadas por professores e/ou alunos. Este material instrucional foi desenvolvido por Lucia Forgiarini da Silva, sob orientação da Dra. Eliane Angela Veit, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O relato circunstanciado da utilização deste material em condições reais de sala de aula, no CEFET/RS de Sapucaia em 2003 e no Curso de Extensão Física para o Ensino Médio II, coordenado pela Profa. Naira M. Balzaretto, durante o ano de 2004, consta da dissertação de mestrado de Lucia F. da Silva. Alguns dos sistemas de aquisição (*software* e/ou *hardware*) aqui sugeridos foram originalmente produzidos por Rafael Haag, Ives Solano Araujo e Jalves Sampaio Figueira. Agradecemos-lhes a prestimosa e constante ajuda.

Porto Alegre, março de 2005

Lucia Forgiarini da Silva

lucia@cefetrs.edu.br

Eliane Angela Veit

eav@if.ufrgs.br

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO.....	7
II - ELEMENTOS BÁSICOS DA AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS	11
II.1 Como o microcomputador entende os sinais elétricos gerados?	11
II.2 Precisão nas medidas.....	12
II.3 Interface utilizada: a placa de som.....	15
II.3.1 Porta de jogos ou porta de <i>joystick</i>	16
II.3.2 Entradas e saídas de áudio da placa de som.....	20
II.4 <i>Softwares</i> para aquisição de dados	22
III. EXPLORANDO SENSORES.....	27
III.1 Transdutores (ou sensores)	28
III.2 Aplicação de alguns destes sensores	35
III.3 Sensores e aquisição automática de dados	38
III.4 Atividades para os alunos	40
IV. MEDIDAS DE TEMPO	43
IV.1 Sistemas numéricos: decimal e binário	43
IV.2 Medida de tempo via entrada digital porta de jogos	45
IV.2.1 Montagem do sensor de medida de tempo	47
IV.3 <i>Software</i> de aquisição e resultados típicos	50
IV.4 Comentários.....	51
V. ONDAS MECÂNICAS	55
V. 1. Ondas mecânicas transversais.....	56
V.1.1 Explorando animações	56
V.1.2 Experimento: ondas estacionárias em cordas.....	56
V.2 Ondas Longitudinais	60
V.2.1 Explorando animações	60
V.2.2 Experimento: velocidade do som.....	60
V.2.3 Experimento: qualidade do som	62
VI. CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS	69
Apêndice.....	73
A.1 Atividade: explorando sensores.....	75
A.2 Atividade: medidas de tempo	79
A.3 Atividade: ondas mecânicas transversais.....	85
A.4 Atividade: ondas mecânicas longitudinais.....	87
A.5 Atividade: som e música	91
Textos de Apoio ao Professor de Física.....	95

I. INTRODUÇÃO

Neste texto apresentamos atividades de aquisição automática de dados com microcomputadores tendo como principal objetivo propiciar estímulos e condições para que o aluno do ensino médio desenvolva habilidades e competências científicas e tecnológicas importantes para o seu desenvolvimento como cidadão em nossa sociedade cada vez mais competitiva. Sob o ponto de vista da alfabetização científica pretendemos dar elementos para que o aluno vislumbre como os microcomputadores funcionam, de modo a não vê-los como algo mágico e sim como uma máquina que, comandada pelo homem, utiliza uma linguagem própria para ler e processar dados. Temos em mente que um grande número dos nossos alunos não prosseguirá seus estudos, devendo a escola propiciar condições para que venham a ser cidadãos capazes de atuar de forma consciente e crítica na sociedade (Menezes, 2000; Kawamura et al., 2003).

Com as atividades propostas pretendemos que o laboratório se constitua em um local onde alunos e professores sintam-se comprometidos e envolvidos no processo ensino-aprendizagem. Um local onde as atividades não se constituam essencialmente na manipulação de equipamentos, uso de roteiros pré-determinados e de repetição de medidas, mas um ambiente de investigação, questionamento, trabalho colaborativo (Borges, 2002), que propicie condições para uma aprendizagem significativa, na acepção de Ausubel (Moreira, 1999). Ao invés dos tradicionais roteiros fechados, defendemos o uso de guias com a inserção de problemas abertos, em que os alunos tenham a oportunidade de explorar, discutir, testar soluções e aplicar conhecimentos. Aqui nos concentramos em atividades que envolvem aquisição automática de dados com microcomputadores, embora tenhamos consciência que seriam desejáveis, também no laboratório de física, atividades de modelagem computacional. Nos conteúdos relativos a ondas também apresentamos um material instrucional por nós desenvolvido que inclui aplicativos do tipo *Java Applet* (Davidson, 2005) que disponibilizamos na rede (Silva et al., 2005a).

Sabendo que a qualidade e eficiência das atividades de aprendizagem dependem de embasamento teórico, nos apoiamos na teoria sócio-interacionista de Vigotsky (2003), na qual o desenvolvimento cognitivo não pode ser entendido sem referência ao contexto social, e é mediado por instrumentos e signos¹. Especialmente levamos em conta que sob orientação ou colaboração do outro podemos fazer mais do que sozinhos. Como atividades experimentais são de natureza coletiva, propiciando maior interação e troca de significados aluno-aluno e aluno-professor, acreditamos que esta teoria pode auxiliar aos professores a atuarem em um enfoque construtivista como um mediador e não um instrutor. Ao inserir o microcomputador nas atividades de laboratório, é reduzido o tempo para coleta de dados, o que significa maior disponibilidade de tempo para investigação, discussão, troca de experiências, análise e reflexão na resolução de determinado problema, buscando o aprender. Na visão de Vigotsky, buscando a internalização dos significados compartilhados socialmente.

¹ Instrumento: algo que é utilizado para fazer alguma coisa. Signo: algo que significa alguma coisa, gestos e palavras são signos (Moreira, 1999).

Respaldados por inúmeras pesquisas que mostram que a aprendizagem é favorecida quando há engajamento do aluno em atividades interativas (Beichner, 1994; Redish et al., 1997) somos partidários, como diversos outros autores (Cavalcante et al., 2000; Haag, 2001; Aguiar et al., 2001; Montarroyos et al., 2001) da introdução de aquisição automática de dados de forma gradativa, de modo que o aprendiz inicialmente manuseie os dispositivos eletrônicos², que serão utilizados como sensores da grandeza física de interesse, para só então automatizar as medidas a serem coletadas com estes sensores. Fazemos questão de que o aprendiz compreenda alguns pontos fundamentais como o fato de que as grandezas físicas são usualmente analógicas, enquanto que o computador opera no sistema binário, só admitindo dois valores para cada bit, 0 ou 1. Assim como damos chances de que o aluno observe que ele próprio pode escrever um programa que dê comandos ao microcomputador (Veit, 2003).

Nos sistemas comerciais o *hardware* utilizado para a automatização das medidas é uma “caixa-preta” cujo funcionamento é considerado de menor relevância nas atividades experimentais (PASCO, 2005). Consideramos que para que o aluno compreenda o processo de aquisição automática é importante que professores e alunos alguma vez construam o sistema, desde o desenvolvimento de circuitos eletrônicos que sirvam como sensores de medidas, até a automatização das medidas. Também os *softwares* dos sistemas comerciais usualmente são sofisticados, fornecendo gráficos, tabelas e possibilidade de tratamentos estatísticos, mas são sistemas fechados, não acessíveis ao usuário. Damos preferência para *softwares* que permitam modificações por parte dos usuários ou que simplesmente gerem arquivos de dados do tipo texto, que posteriormente serão trabalhados em uma planilha eletrônica.

No Capítulo II pretende-se que o leitor compreenda que o microcomputador pode ser usado como um valioso instrumento de medida no laboratório didático de Física. Procura-se deixar claro que os elementos básicos da aquisição automática de dados são: i) componentes eletrônicos cuja resistência ou corrente elétrica que circula por eles varia em função da variação de alguma grandeza física; ii) uma interface que transforme estas variações analógicas em sinais digitais e iii) *softwares* que permitam a leitura e processamento das informações contidas nestes sinais. Nos concentramos na apresentação da placa de som do microcomputador como uma interface analógica/digital. Também indicamos como ela pode ser usada no sentido inverso, como interface digital/analógica, funcionando como um gerador de sinais. Apresentamos, também, alguns dos *softwares* disponíveis gratuitamente na rede que são úteis para a aquisição de dados via placa de som. Alguns destes *softwares* foram desenvolvidos no âmbito do projeto Novas Tecnologias no Ensino de Física, do IF/UFRGS (Haag, 2005; Araujo, 2005; Figueira et al., 2005, Silva et al., 2005b), outros foram selecionados na *web* (Horne, 2005; Veldhuijzen, 2005). Concentramo-nos nos *softwares* que efetivamente utilizamos nas atividades propostas nos capítulos subseqüentes.

Atividades experimentais previstas para alunos do ensino médio são apresentadas a partir do terceiro capítulo. Para cada atividade proposta, incluímos um guia para o aluno, constante no Apêndice

² Termistores, diodos emissores e receptores, fototransistores e outros.

deste texto. No Capítulo III exploramos o uso de transdutores eletrônicos (sensores) para a medida de grandezas físicas. Sugerimos montagens experimentais que podem ser construídas com componentes eletrônicos facilmente encontrados em lojas de eletrônica. A sugestão de atividades em que o aluno usa tais montagens para o estudo de algum evento físico é objeto dos capítulos finais deste texto.

Em particular, no Capítulo IV apresenta-se um sistema para medidas de tempo via entrada digital da porta de jogos em que o sistema ótico de detecção é construído a custos módicos³, com diodos emissores de infravermelho e fototransistores receptores, enquanto que três atividades para o estudo de ondas mecânicas transversais (em cordas tracionadas) e longitudinais (ondas sonoras em tubos) são apresentadas no Capítulo V, juntamente com algumas considerações sobre os pontos essenciais de um hipertexto construído para a introdução de ondas mecânicas.

Comentários e conclusões finais são apresentados no Capítulo VI, enquanto o Apêndice inclui cinco guias para os estudantes desenvolverem as atividades experimentais propostas neste texto.

³ Custos da ordem do valor de uma a duas entradas de cinema.

II - ELEMENTOS BÁSICOS DA AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS

Três são os elementos básicos para a implementação de um sistema de aquisição automática de dados usando microcomputadores:

- transdutores que captam os valores das grandezas físicas;
- interface para conversão dos sinais (usualmente) analógicos em sinais digitais;
- *softwares* que registram e armazenam os dados coletados.

Neste capítulo nos concentramos na interface conversora de sinal analógico em digital. Especificamente apresentamos os princípios de funcionamento da placa de som, pois estas podem desempenhar a função de interface conversora de sinal analógico em digital (A/D) e de sinal digital em analógico (D/A). Também apresentamos *softwares* apropriados para o registro e armazenamento, que são utilizados em capítulos posteriores. Uma introdução aos sensores (transdutores) que captam as variações de grandezas físicas, e as transformam em sinais elétricos captados e processados pelo microcomputador é deixada para o Capítulo III. Esperamos, com os conteúdos dos Capítulos II e III, dar condições mínimas para que o professor possa, muito mais do que simplesmente usar as atividades apresentadas, ampliá-las e criar novas propostas.

II.1 Como o microcomputador entende os sinais elétricos gerados?

Uma das dificuldades em utilizar o microcomputador em atividades experimentais no laboratório didático de Física reside no fato deste utilizar a linguagem binária para ler, processar e armazenar dados. As informações são armazenadas no que se chama de *bit*⁴. Um bit pode estar somente em um de dois estados lógicos: 0 ou 1 (verdadeiro ou falso, sim ou não). Um conjunto de 8 bits forma 1 baite (em inglês: *byte*).

As grandezas físicas são do tipo analógicas (variam continuamente), não podendo ser lidas diretamente pelo microcomputador. Desta forma, para que o microcomputador possa entender o sinal analógico produzido pela variação de determinada grandeza física é preciso que seja feita a conversão deste sinal analógico em sinal digital. Isto é feito pelos denominados conversores analógicos/digitais. (ADC).

Há dois tipos de conversores:

Analógico/Digital – efetua a conversão de uma variável analógica para digital ou binária;

⁴ Em inglês dígito binário é escrito como *binary digit*. Estas duas palavras foram condensadas como *bit* = *bi(nary) (dig)it*. O dicionário Houaiss já registra a versão em português da palavra inglesa *bit* como bite, porém preferimos manter em todo o trabalho a forma bit.

Digital/Analógico – de maneira inversa, o conversor D/A transforma uma variável binária em sua entrada, em analógica na saída (tensão ou corrente).

Por que usamos transdutores ou sensores em atividades de aquisição automática de dados?

Transdutores são dispositivos eletrônicos capazes de transformar variações de uma determinada grandeza física em sinais elétricos. Por atuarem como sensores de grandezas físicas, os transdutores, muitas vezes chamados simplesmente de sensores, são muito úteis na aquisição automática de dados. Podemos citar como exemplo de sensores os fotorresistores (LDR) e os termistores. Os fotorresistores, cuja resistência varia com a intensidade luminosa, podem ser utilizados em medidas de intervalos de tempo, por exemplo, e os termistores, cuja resistência varia com a temperatura, em medidas de temperatura. No Capítulo III, *Explorando Sensores*, são apresentados os sensores utilizados nas atividades subsequentes.

II.2 Precisão nas medidas⁵

As informações captadas pela entrada analógica da porta de jogos são sinais elétricos entre 0 e 5 V. Cabe à interface A/D converter o valor analógico de entrada em um número binário proporcional ao analógico.

A Figura 1 representa um esquema de conversão de um sinal elétrico em sinal digital por um conversor de 8 bits, que permite 256 ($2^8 = 256$) distintos valores. A frase 00000000 corresponde ao menor valor de tensão (0V) e a frase 11111111 ao máximo valor de tensão (5 ou 10 V). Outros 254 valores intermediários são possíveis.

Como fica a precisão da medida ao ser feita a conversão do sinal de entrada analógico em sinal digital? Vejamos alguns exemplos.

⁵ Esta seção está baseada nas referências Cavalcante et al. (2000) e Veit et al. (2005). As figuras foram extraídas, com permissão, destas referências.

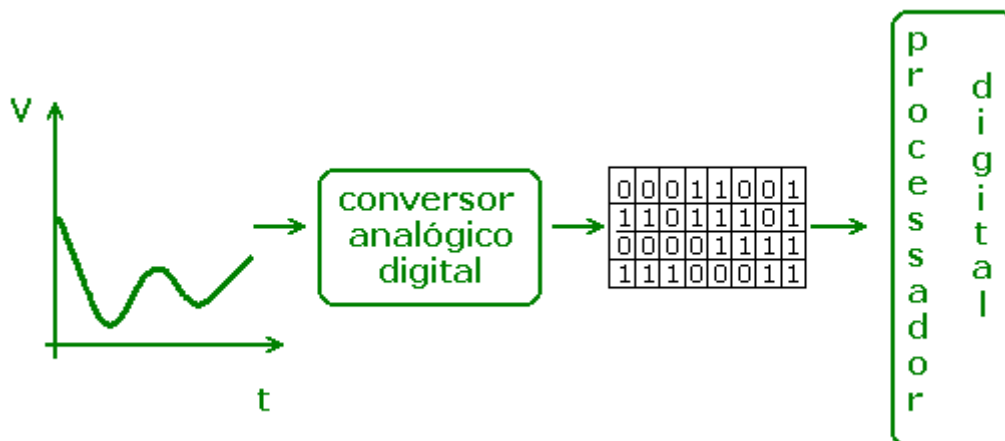


Fig. 1 – Representação de conversão de um sinal analógico em digital.

Exemplo 1 - Suponha que tenhamos um valor de tensão de 5 V na entrada de um conversor de 3 bits. Para três bits temos 8 combinações possíveis (2^3) para as frases binárias: **(0 0 0)**, **(0 0 1)**, **(0 1 0)**, **(0 1 1)**, **(1 0 0)**, **(1 0 1)**, **(1 1 0)**, **(1 1 1)**. Cada uma destas frases representa um intervalo de $5/8V$ (0,625 V). A Tabela 1 mostra estas oito combinações e o intervalo de tensão entre as frases de 3 bits, enquanto na Figura 2, o correspondente gráfico é apresentado.

Desafio: Se o sinal elétrico de entrada gerado pelo sensor for de 1,5 V, qual a frase binária que será transmitida ao processador?

Resposta: Será a de referência 3, **(0 1 0)**. Observe que qualquer valor entre 1,25 e 1,875V será transmitido ao processador por esta mesma frase.

Tabela 1 – Combinação de possíveis frases para um conversor de três bits.

Tensão (V)			Frases	Referência
0	–	0,625	0 0 0	1
0,625	–	1,250	0 0 1	2
1,250	–	1,875	0 1 0	3
1,875	–	2,500	0 1 1	4
2,500	–	3,125	1 0 0	5
3,125	–	3,750	1 0 1	6
3,750	–	4,375	1 1 0	7
4,375	–	5,000	1 1 1	8

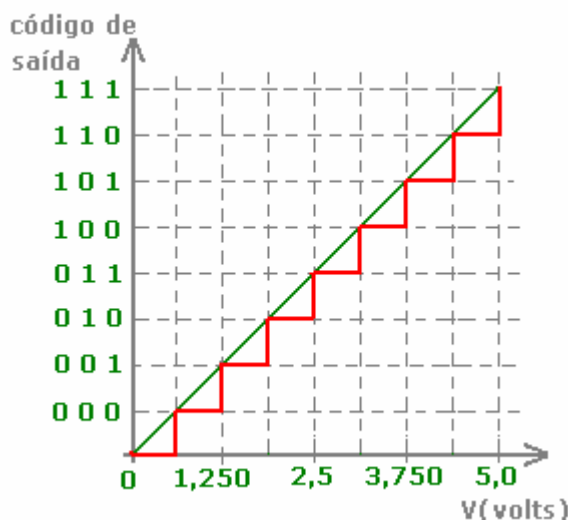


Fig. 2 – Código de saída x sinal de entrada.

Exemplo 2 - Suponha que tenhamos um valor de tensão de 5 V na entrada de um conversor de 4 bits. Para quatro bits teremos 16 combinações (frases) possíveis (2^4). Cada uma destas frases representa um intervalo de $5/16V$ (0,3125 V). A Tabela 2 mostra estas dezesseis combinações e o intervalo de tensão entre as frases de 4 bits e a Figura 3, o correspondente gráfico.

Nas representações gráficas de 3 bits e de 4 bits (Figuras 2 e 3), podemos observar claramente que ao aumentarmos o número de bits obtemos maior precisão na conversão do sinal de entrada. Podemos dizer que:

“maior número de bits \Rightarrow maior precisão na conversão \Rightarrow sistema com maior resolução.”

A Tabela 3 mostra os resultados para diferentes valores de bits na saída, número de canais e o intervalo de tensão entre as frases digitais.

Tabela 2 –Algumas das combinações de possíveis frases para um conversor de quatro bits.

Tensão (V)	Frases	Referência
0 – 0,3125	0 0 0 0	1
0,3125 – 0,6250	0 0 0 1	2
0,6250 – 0,9375	0 0 1 0	3
–	0 0 1 1	4
0,9375 – 1,2500	0 1 0 0	5
1,2500 ... 1,5625
4,2750 – 4,6175	1 1 0 1	15
4,6175 – 5,0000	1 1 1 1	16



Fig. 3 – Código de saída x sinal de entrada.

A diferença entre os diversos tipos de conversores analógico/digitais (ADC) reside basicamente na velocidade de transmissão, número de bits na saída, canais de entrada, o tempo de resposta, as tensões de entrada e as tensões de saída.

Tabela 3 - Valores para diferentes conversores.

Nº de bits na saída	Canais	Intervalo de discriminação (V)
3	8	0,625
4	16	0.3125
8	256	0,00390625
12	4096	0,000244141
14	16384	6,10352E-05
16	65536	1,52588E-05

II.3 Interface utilizada: a placa de som

Até o advento da placa de som, o uso de microcomputadores como instrumento de medida no laboratório didático de Física requeria a utilização de interfaces constituídas por circuitos eletrônicos, cuja construção envolvia algum conhecimento de eletrônica ou através de “kits” pré-fabricados, importados, com elevado custo. A utilização destes sistemas comerciais normalmente é limitada no sentido de que não há a possibilidade de exploração de outros experimentos, que não aqueles para os quais foram projetados, e tampouco há a possibilidade de modificação dos softwares de aquisição e tratamento de dados que os acompanham. Muitas publicações, tanto em nível nacional (Haag, 2001; Aguiar et al., 2001; Montarroyos et

al., 2001, Magno et al., 2004; Cavalcante et al., 2003; Figueira et al., 2004) como internacional (Saba et al., 2001; Stensgaard et al., 2001; Aguiar et al., 2001) têm mostrado que a placa de som do microcomputador pode desempenhar o papel de conversor analógico/digital, de modo que a aquisição automática pode ser implementada sem a necessidade de outra interface. Em nossas atividades de aquisição automática de dados adotamos a placa de som como interface analógico/digital.

Uma placa de som convencional possui uma entrada para *joystick* (porta de jogos) e suporte de MIDI (*musical instruments digital interface*), entrada auxiliar, entrada de microfone e saída de áudio. Usualmente a porta de jogos é de 8 bits, com amostragem de 1 a 2 kHz. A entrada e saída de áudio podem ser de 8, 16, 64,... bits. Nas placas de som mais comuns os limites de amostragem são de 20 Hz a 20 kHz. De acordo com a Tabela 3, podemos observar que estas entradas têm uma precisão bastante razoável para as experiências didáticas usuais.

II.3.1 Porta de jogos ou porta de *joystick*⁶

Na porta de jogos, localizada na parte posterior do processador, podem ser conectados dois *joysticks* analógicos, embora exista a conexão para apenas um. Para o uso simultâneo de dois *joysticks* é necessário um cabo especial em forma de “Y”. O *joystick* é conectado em um soquete de 15 pinos, mostrado na Figura 4.

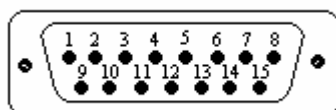


Fig. 4 – Representação do soquete onde é conectado o *joystick*.

Como funciona o joystick?

Ao jogarmos videogame fazemos movimentos com os botões do *joystick* para controlarmos os movimentos do jogo. Você sabe qual princípio físico que está por trás destes movimentos e que nos permite jogar videogame? Vejamos um pouco mais sobre isso.

O *joystick* analógico tem dois botões e dois potenciômetros cujas resistências variam de 0 a 100 k Ω (até 150 k Ω). Ao fazermos o movimento esquerda-direita do *joystick* (eixo X) mudamos a resistência de um dos potenciômetros. De maneira análoga, ao fazermos o movimento frente-trás (eixo Y) mudamos a

⁶ Esta seção está baseada nas referências Aguiar et al. (2001) e Haag (2001).

resistência do outro potenciômetro. Quando o *joystick* está todo para a esquerda e para a frente a resistência é nula. São estes sinais elétricos, gerados pela variação da resistência do potenciômetro do *joystick* nos movimentos esquerda-direita e frente-trás, que são lidos e processados pelo processador e nos permitem brincar com o videogame.

Cada um dos dois *joysticks* que podem ser conectados à porta de jogos têm dois botões (A e B) e dois potenciômetros (X e Y). Na Tabela 4 os pinos 2 e 3 representam, respectivamente, o botão A1 e potenciômetro X1 de um dos *joysticks* e os pinos 10 e 11 correspondem ao botão A2 e o potenciômetro X2 do segundo *joystick*. A função dos demais pinos também é apresentada na Tabela 4. Os botões A1, B1, A2 e B2 (pinos 2, 7, 10 e 14) são as quatro entradas digitais da porta de jogos.

Os potenciômetros X1, Y1, X2 e Y2 (denominados *sticks*), que correspondem respectivamente aos pinos 3, 6, 11 e 13, são as quatro entradas analógicas.

Resumindo

A entrada de jogos é uma porta de 8 bits (podemos medir 256 valores distintos), com quatro entradas digitais e quatro analógicas. São estas entradas, digitais e analógicas, que usaremos em nossas atividades de aquisição automática de dados.

Um pouco mais sobre o funcionamento das entradas digitais e analógicas⁷

A Figura 5 mostra os circuitos ligados a cada um dos 15 pinos da porta de jogos. Os circuitos conectam os botões e potenciômetros a 8 linhas que alimentam 8 bits (1 byte) numeradas respectivamente de 0 a 7 e colocados no endereço de entrada/saída 513 (decimal).

Entrada digital

Os bits de 4 a 7, correspondentes às linhas b4....b7, informam o estado lógico das quatro entradas digitais da porta de jogos. Estes estados lógicos são interpretados de forma direta pelo processador através da entrada I / O da seguinte forma. As entradas são conectadas por meio de um resistor a um potencial de 5V. Quando o botão é pressionado o potencial na linha de saída torna-se 0 V, e assume o valor lógico 0,

⁷ Baseado em Haag (2001).

quando o botão é solto o potencial da linha sobe para 5 V e o valor do bit passa a ser 1. O intervalo de leitura nas entradas digitais da porta de jogos é de aproximadamente 1 μ s.

Tabela 4 – Pinos da porta de jogos com sua respectiva função⁸.

Pino	Função
1	+5 Volts
2	Botão A1
3	Potenciômetro X1
4	Terra
5	Terra
6	Potenciômetro Y1
7	Botão B1
8	+ 5 Volts (ou sem uso)
9	+ 5 Volts
10	Botão A2
11	Potenciômetro X2
12	Terra (ou porta midi)
13	Potenciômetro Y2
14	Botão B2
15	+5 Volts (ou porta midi)

Entrada analógica

Os bits de 0 a 3, correspondentes às linhas b0...b3, são usados para determinar a resistência do potenciômetro. Esta leitura não é feita diretamente como no caso anterior, mas através de um circuito integrado, o NE 558, composto basicamente de quatro “multivibradores monoestáveis”. O pulso produzido pelos multivibradores é um pulso retangular, cuja duração é diretamente proporcional à corrente na entrada, representado na Figura 6. Em linhas gerais o sistema passa pelas etapas que seguem:

- normalmente o capacitor está carregado (5V) e a saída do multivibrador encontra-se no estado lógico “1”;
- ao ser registrado algo no endereço da porta (I/ O 201h) inicia-se o descarregamento dos capacitores ligados aos potenciômetros e a saída do multivibrador passa para o estado lógico “0”;

⁸ Tabela extraída do texto Aguiar et al. (2001).

- cada capacitor começa a ser carregado devido à existência de uma diferença de potencial de 5V entre a resistência R e a resistência na entrada da porta. O bit permanece no estado “0” até que a tensão nos capacitores seja de 3,3 (2/3 de 5V);
- atingido o valor limite, a saída do multivibrador passa ao estado lógico “1” e repete-se o ciclo.

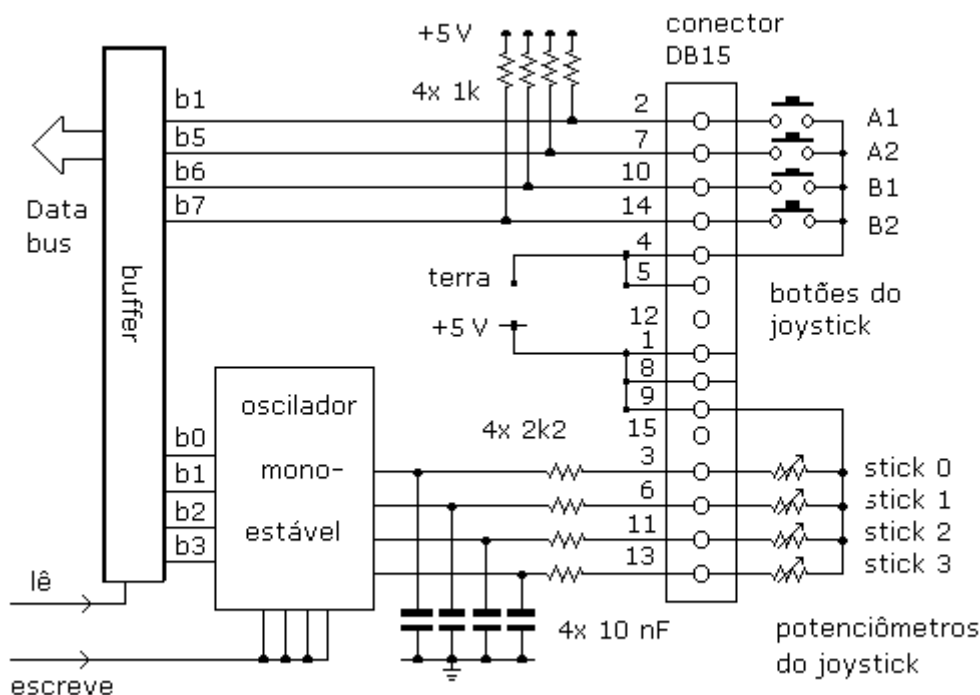


Fig. 5 – Esquema do circuito elétrico da porta de jogos⁹.

Armazenamento dos dados coletados

Obtêm-se a resistência de um potenciômetro do *joystick* medindo-se o tempo que o bit permanece com valor 1. Este tempo varia linearmente com a resistência R do potenciômetro de acordo com a equação (Aguiar et al., 2001):

$$T (\mu s) = 24,2 + 11 \times R (k\Omega).$$

Para fazer a medida do intervalo de tempo durante o qual o bit permanece no estado 1, usamos programas de contagem. Como este tempo é menor que alguns milissegundos, os programas precisam ser muito rápidos na leitura. Neste trabalho usamos a entrada analógica da porta de jogos na atividade de *Explorando Sensores*.

⁹ Figura extraída de Veit et al. (2004).

Como utilizamos a porta de jogos para aquisição automática de dados via entrada digital e analógica

O *joystick* é essencialmente um conjunto de resistências variáveis, cujos valores são lidos continuamente pelo microcomputador. Em nossas atividades de aquisição automática de dados substituímos o *joystick* por componentes eletrônicos cuja resistência depende da grandeza física que queremos medir e os usamos como sensores. À(s) entrada(s) digital(is) podemos acoplar sensores óticos (LDR¹⁰, fotodiodos, fototransistores) e magnéticos (*reed-switch*), para medidas de intervalo de tempo, por exemplo. À(s) entrada(s) analógica(s) podemos acoplar, por exemplo, termistores (NTC¹¹, PTC¹²) e potenciômetros, para medidas da temperatura e posição angular, respectivamente.

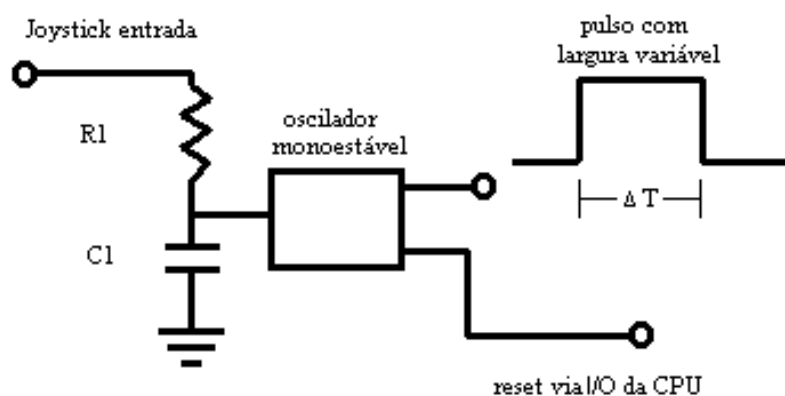


Fig. 6 – Diagrama esquemático do funcionamento dos multivibradores¹³.

II.3.2 Entradas e saídas de áudio da placa de som¹⁴

Como foi citado anteriormente, uma placa de som possui além da entrada para *joystick* e suporte de MIDI (*musical instruments digital interface*), outras entradas (microfone e *line-in*) saída de áudio. Podemos, então, utilizar a placa de som do microcomputador para captura de dados via entradas de áudio da placa de som. Na Figura 7 estão representadas as entradas e saídas de uma porta convencional.

Quando um sinal analógico entra na placa de som por uma das entradas de áudio, por exemplo, um sinal sonoro captado pelo microfone, este sinal é amplificado, passa por um misturador analógico (mixer), e finalmente é convertido em um código digital pelo conversor analógico-digital (A/D) para poder ser lido pelo processador do microcomputador. A Figura 8 ilustra as diversas transformações sofridas pelo sinal. Um

¹⁰ LDR: resistor dependente da intensidade luminosa . Do inglês: *Light Dependence Resistor*.

¹¹ NTC: resistor dependente da temperatura. Do inglês: *Negative Temperature Coefficient*.

¹² PTC: resistor dependente da temperatura. Do inglês: *Posittive Temperature Coefficient*

¹³ Figura extraída de Haag (2001).

¹⁴ Baseado em Veit et al (2004). Figuras extraídas sob permissão.

caminho inverso ocorre quando um sinal digital é gerado pelo processador e emitido através de uma das saídas, conforme ilustrado na Figura 9. A informação digital é convertida em analógica pelo conversor digital-analógico (D/A), depois é misturada e amplificada para, finalmente, ser transmitida pelo alto-falante, por exemplo.

A placa de som como instrumento de medida

Sinais elétricos que entram pela placa de som (tanto pela entrada de microfone quanto pela *line-in*) podem ser processados pelo microcomputador, desde que se disponha de um *software* adequado. Assim, o microcomputador pode atuar como instrumento de medida, por exemplo, como um osciloscópio, desde que se disponha de *softwares* apropriados. Exemplos são apresentados na próxima seção.

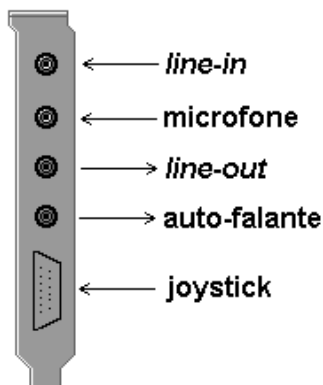


Fig. 7 - Entradas e saídas de uma placa de som convencional.

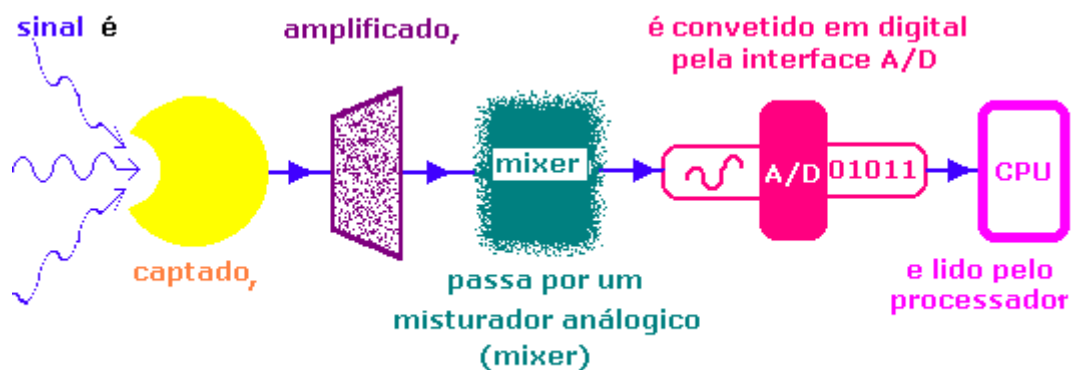


Fig. 8 – Esquema de conversão de um sinal analógico para digital.

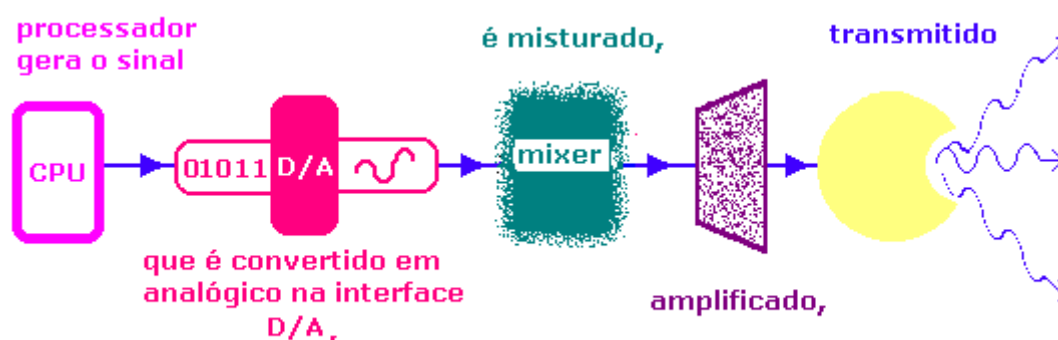


Fig. 9 – Esquema de conversão de um sinal digital para analógico

A placa de som como gerador de sinais

Sinais elétricos ou sonoros podem ser gerados pelo microcomputador, por exemplo, sinais elétricos com a forma de ondas do tipo senoidal ou quadrada, com frequências bem definidas. Neste caso o microcomputador cumpre a função de um freqüencímetro digital. Também neste caso são necessários *softwares* específicos.

II.4 Softwares para aquisição de dados

Para que o microcomputador execute tarefas, é necessário dar instruções em alguma linguagem de programação (Delphi, Pascal, Visual Basic, C++,...). Independentemente da linguagem empregada, o *software* para aquisição de dados deve incluir o endereço onde a leitura deve ser feita, o qual depende da porta de entrada usada para a aquisição, enviar um sinal para dar início à conversão e um para encerrar a conversão, e fazer a leitura da porta apropriada durante estes dois sinais, registrando-a em um arquivo de dados.

Nas atividades propostas neste texto a porta de jogos da placa de som é empregada em *Explorando Sensores* (via entradas analógicas e digitais) e em *Medidas de Tempo* (via entrada digital), enquanto a entrada e saída de áudio são usadas nas atividades relativas a *Ondas Mecânicas*. Na maior parte das atividades, optamos por *softwares* gratuitos. Para *Medidas de Tempo* foram construídas planilhas do Excel (Silva et al., 2005b), que fazem a leitura das portas com rotinas escritas em VBA (*Visual Basic Application*). Embora o Excel não seja um *software* gratuito, a maior parte das escolas o possui.

Passamos a descrever os *softwares* que recomendamos.

Spectrogram: Software Analisador de Espectro

O *Spectrogram* (Horne, 2005) permite estudar a composição de frequências de um sinal sonoro. O acesso ao *software* é livre por 10 min, podendo ser renovado sempre que necessário sem qualquer outro inconveniente, como reinstalação.

Com o *Spectrogram* pode-se fazer a análise do sinal captado na entrada de microfone em tempo real, assim como analisar um som previamente gravado. Alguns dos parâmetros ajustáveis são a banda de frequência a ser analisada e o número de canais de coleta de dados. O espectro sonoro é salvo no formato *wav* e pode ser reproduzido no alto-falante, enquanto na tela do computador pode ser visualizado o espectro de dois modos:

- i) como um espectrograma, que consiste em um gráfico de frequência em função do tempo, com diferentes cores associadas à intensidade relativa de cada frequência. A Figura 10.a ilustra um espectrograma. Na tela do computador a imagem é colorida. Aqui, a intensidade relativa de cada frequência é mostrada em uma escala de cinzas;
- ii) um gráfico do nível de intensidade (dB) x frequência, como ilustrado na Figura 10.b. Posicionando o cursor na área do gráfico, pode-se ler os valores de frequências. Clicando em qualquer ponto de um gráfico do tipo i), pode-se obter um gráfico do tipo ii).

Nos Capítulo V empregamos *Spectrogram* para a análise de som, mas ele também pode analisar outros sinais elétricos, via entrada de microfone (Veit et al., 2005).

Software Gerador de Sinais: SINE (Sine Wave Generator)

O SINE (Veldhuijzen, 2005) gera sinais sonoros via o alto-falante do microcomputador, numa faixa de frequência entre 4 Hz a 4 kHz. A onda produzida é do tipo senoidal. Recomendamos nas atividades *Ondas Estacionárias e Onda Longitudinal II*.

Software Aqdados 2.0

O Aqdados (Araujo, 2005) faz a leitura das entradas digital e analógica da porta de jogos da placa de som, permitindo a leitura de até três entradas analógicas e quatro entradas digitais de forma simultânea. Escolhida a(s) entrada(s) a ser(em) usada(s), é possível optar pelo número de medidas a serem realizadas.

O intervalo de tempo entre as medidas é fixo, mas depende do número total de medidas efetuadas. Iniciada a aquisição de dados, o *software* mostra, em tempo real, o comportamento da resistência elétrica do sensor acoplado a uma porta analógica. O *software* fornece um gráfico da resistência (em unidades arbitrárias) contra o número da medida, e gera um arquivo do tipo texto, cuja análise pode ser feita posteriormente em uma planilha eletrônica.

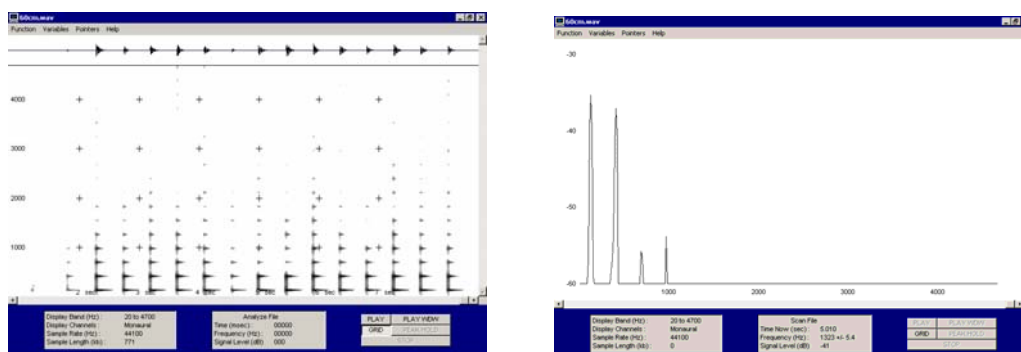


Fig. 10 – Visualização do espectro sonoro fornecido pelo *Spectrogram*: a) freqüência x tempo, sendo as diferentes tonalidades de cinzas associadas à intensidade relativa de cada freqüência e b) nível de intensidade x freqüência.

Como este *software* mede em unidades arbitrárias, caso se queria fazer medidas absolutas, é necessário calibrar o sistema. Quando se está trabalhando com sensores cuja resposta é linear, isto não apresenta maior problema, pois basta determinar o valor da grandeza física e da resistência em unidades arbitrárias para dois pares de pontos, que facilmente se obtém o fator de conversão. Por exemplo, quando se usa um potenciômetro para estudar a posição angular de um pêndulo. Determinando qual o valor de resistência medido pelo *software* quando o deslocamento angular do pêndulo é zero e quando é 90^0 , pode-se conhecer o valor do deslocamento angular para qualquer outro valor de resistência medido¹⁵. Quando o sensor não é linear, com o é o caso de um NTC, entretanto, a calibragem pode ser mais trabalhosa, e não recomendável para o ensino médio. A Figura 11 ilustra a aquisição de 1000 medidas (intervalo de tempo de 0,016 s entre cada medida) de uma um potenciômetro (1k Ω) acoplado a uma das entradas analógicas. Ao final da aquisição, o *software* permite melhorar a visualização do gráfico da resistência *versus* o número da medida pressionando o botão “ajustar visualização”.

Usamos o Aqdados em *Explorando Sensores*, onde se investiga o comportamento de sensores (LDR, NTC, potenciômetros,...) quando varia determinada grandeza física (intensidade luminosa, temperatura, posição,...).

¹⁵ É dispensável a calibragem, caso se opte por trabalhar com as amplitudes relativas do pêndulo.

Excel para medidas de tempo

De modo análogo ao proposto por Figueira et al. (2004), construímos uma planilha Excel, para a leitura de uma entrada digital da porta de jogos¹⁶, livremente disponível em Silva et al. (2005a). O VBA, que acompanha o Excel, é usado nesta planilha para a leitura e registro dos dados.

Há várias opções para os resultados apresentados na planilha:

- i) a planilha **tempo0** faz a leitura da porta digital em intervalos de tempo iguais; em uma coluna fica registrado o valor de um contador interno e em outra o estado lógico da porta de entrada;
- ii) a planilha **tempo1** apresenta o intervalo de tempo, em milissegundos, durante o qual o feixe permanece obstruído;
- iii) a planilha **tempo2** é apropriada para a situação em que há dois sensores em uso e se deseja determinar o intervalo de tempo que um móvel demora para se deslocar entre os dois sensores;
- iv) a planilha **tempo3** é apropriada para a situação em que há dois sensores em uso, mas se deseja determinar o tempo que o móvel demora obstruindo cada um dos sensores;

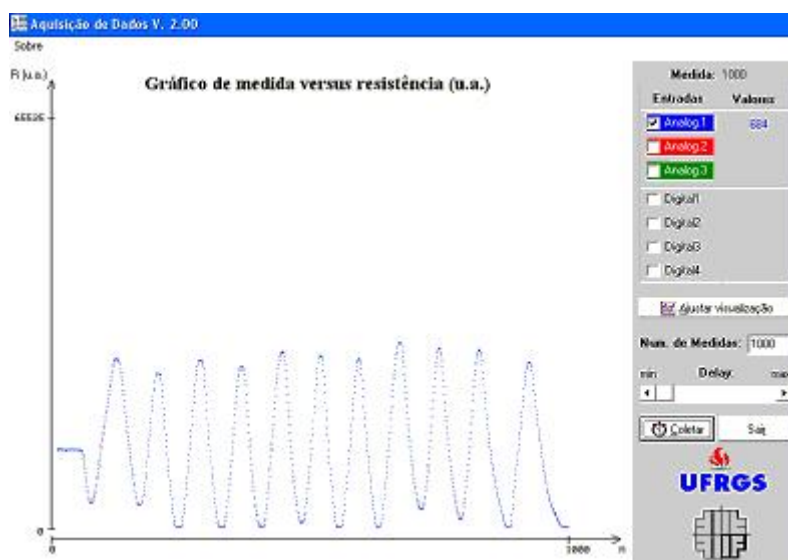


Fig. 11 – Visualização do gráfico de resistência versus número de medidas de um potenciômetro fornecido pelo Aqdados. Neste exemplo foi utilizada uma das entradas analógicas.

¹⁶ Esta planilha está construída de modo a ler dados de sensores acoplados aos pinos 2, 7, 10 ou 14.

No Capítulo IV apresentamos mais detalhes sobre estas planilhas, resultados experimentais para medidas de tempo e o sistema ótico de detecção. Uma introdução sobre a construção de macros com o Excel pode ser vista em (Figueira et al., 2005).

III. EXPLORANDO SENSORES

Pesquisas que envolvem Laboratórios Baseados em Microcomputadores (MBL¹⁷) mostram que os alunos apresentam ganhos mais efetivos na aprendizagem quando se engajam no experimento interagindo com os equipamentos (Beichner (1994) e outros). Partindo deste princípio, propomos que a aquisição automática de dados seja precedida de atividades em que o estudante explore os sensores, fazendo medidas manuais que lhe permitam observar que efetivamente determinado sensor (por exemplo, um termistor) pode ser útil para a medida de certa grandeza física (no caso, temperatura). Só, então, entendemos apropriado que o estudante passe a fazer medidas automáticas, usando *softwares* apropriados.

Com componentes eletrônicos facilmente encontrados em lojas de eletrônica é possível, além de desenvolver atividades de medida, discutir, desenvolver e contextualizar alguns tópicos da Física. Citamos, como exemplos: erros e incertezas no processo de medida, Algarismos significativos, corrente e resistência elétrica, elementos de um circuito elétrico, elementos da teoria da condução elétrica dos materiais (clássica e quântica), teoria corpuscular da luz, noções de como o microcomputador opera, noções de eletrônica básica no currículo, aplicação de componentes eletrônicos em aparelhos eletro-eletrônicos, ou ainda, o princípio de funcionamento de dispositivos eletrônicos com sensores comuns no dia-a-dia, como, alarmes, leitor de código de barras e outros. Foge ao escopo do presente trabalho discutir todos estes exemplos. Restringimo-nos a apresentar alguns sensores apropriados para medidas automatizadas e algumas de suas aplicações. Recomendamos fortemente o material sobre eletromagnetismo desenvolvido pelo GREF para a discussão da física envolvida em sensores que empregam materiais semicondutores como diodos e transistores.

Esperamos que ao longo da atividade os alunos adquiram noções sobre:

- princípio de funcionamento de alguns sensores como: potenciômetros, diodos emissores (LED¹⁸), fototransistores, termistores (PTN, NTC), fotossensores (LDR);
- medidas manuais de grandezas físicas usando tais sensores;
- montagem destes sensores em sistemas de detecção a serem acoplados à placa de som do microcomputador;
- aplicações destes sensores em dispositivos eletrônicos, tais como leitor de código de barras, *mouse*, portas eletrônicas, chaves-ópticas.

¹⁷ Do inglês MBL – *Microcomputer-Based Laboratory*

¹⁸ Do inglês: LED (*Light Emission Diode*) – diodo emissor de luz (usualmente na faixa de infravermelho)

III.1 Transdutores (ou sensores) ¹⁹

Denominamos de transdutores ou sensores todo dispositivo capaz de transformar variações de uma determinada grandeza física em um sinal elétrico, ou vice-versa. É por este motivo que utilizamos os transdutores em atividades de aquisição automática de dados, pois sinais elétricos podem ser captados pela interface conversora de sinal analógico em digital e enviados para o processador do microcomputador. Como mencionado em capítulos anteriores, neste trabalho usamos a placa de som como interface analógica-digital, tanto via entrada de jogos quanto via entrada de áudio. Descrevemos a seguir algumas características dos componentes eletrônicos que podem ser conectados à porta de jogos.

Potenciômetros

Potenciômetros são resistores variáveis, ou seja, dispositivos cuja resistência elétrica pode ser variada, pois são constituídos por um elemento de resistência - carbono ou nicromo - sobre o qual corre um cursor. Conforme a posição deste cursor, a resistência apresentada pelo potenciômetro é diferente. Há potenciômetros lineares, em que o cursor percorre um caminho linear, e angulares, no qual o cursor percorre um arco de círculo. A relação entre o ângulo varrido e a resistência pode ser linear ou logarítmica. Usamos potenciômetros angulares com relação linear entre ângulo e resistência para medidas de posições angulares. Em geral, potenciômetros são utilizados em aparelhos eletrônicos, para fazer ajustes ou correções como, por exemplo, para variar a intensidade de um som, o brilho da tela de um televisor ou do monitor de um computador. A Figura 12 mostra o aspecto real e os símbolos de representação de um potenciômetro.

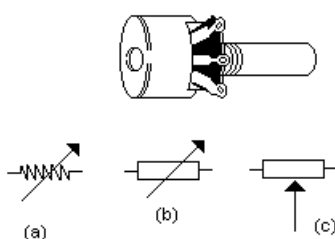


Fig. 12– Símbolos e aspecto real de um potenciômetro.

Termistores

Termistor é um sensor cuja resistência elétrica apresenta grande sensibilidade a mudanças de temperatura. São constituídos por uma mistura de óxidos de cobalto, níquel, estrôncio ou magnésio, e

¹⁹ Seção baseada em Aguiar et al (2001), Holman et al (2001), Eisberg et al (1994), Boylestad (1992), Lurch (1984).

classificados de acordo com a resposta da resistência elétrica à variação da temperatura; i) termistores do tipo PTC (*positive temperature coefficient*) apresentam aumento da resistência elétrica com o aumento da temperatura; ii) termistores do tipo NTC (*negative temperature coefficient*) apresentam diminuição da resistência elétrica com o aumento de temperatura. Em geral, são úteis para medida de temperatura na faixa de 50°C a 150°C. Termistores são apropriados para circuitos de controle ou medição de temperatura, como alarmes de incêndio e termostatos de sistemas de aquecimento.

Em termos da escola de ensino médio, uma dificuldade apresentada por estes sensores refere-se ao fato que a variação da resistência com a temperatura não é linear, conforme pode ser visto na Figura 13, que mostra uma curva característica de um resistor.

Uma boa aproximação para a resistência do NTC em função da temperatura para variações de até 50°C pode ser dada pela forma (Haag et al., 2003):

$$R = R(T_0) \exp(\beta(1/T - 1/T_0)),$$

onde R é medido em $k\Omega$, T em kelvin e β , cuja unidade é kelvin, é uma constante característica do NTC. Usualmente T_0 é tomado igual a 25°C. Para variações de temperatura na faixa de 5°C a 100°C, o ajuste via exponencial chega a apresentar precisão de $\pm 5\%$, valor inaceitável para a maioria das experiências didáticas de termologia. Por isto consideramos que este tipo de sensor deva ser utilizado apenas para experiências qualitativas em nível de ensino médio.

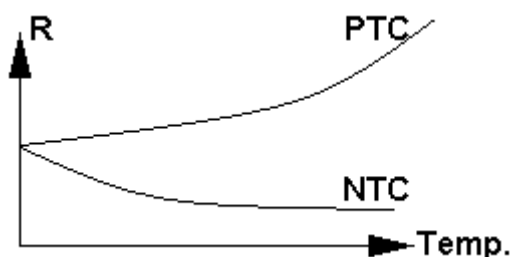


Fig. 13 - Curva características para os sensores NTC e PTC.

Termistores

Termistores são componentes *não-polarizados*, ou seja, não há um sentido preferencial para serem conectados aos circuitos. A Figura 14 apresenta o aspecto real e o símbolo de um resistor.



Fig. 14 – Símbolo e aspecto real de um termistor

Fotorresistores

Fotorresistores são dispositivos fotoelétricos (célula fotocondutora ou fotocélula) cuja resistência elétrica varia em função da intensidade da luz incidente. É usual denominá-los por LDR (*Light Dependent Resistor*). No escuro apresentam uma resistência elevada, na faixa de $M\Omega$; quando expostos à luz, a resistência diminui drasticamente (ordens de magnitude). Uma desvantagem destes sensores é a lentidão da resposta, que chega a décimos de segundo.

Fotorresistor também é um componente *não-polarizado*. A Figura 15 apresenta o aspecto real e o símbolo de um LDR.

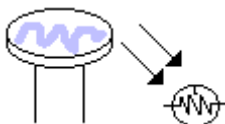


Fig. 15 - Símbolo e aspecto real de um LDR.

Diodos

Diodos são formados pela junção de dois cristais semicondutores, na qual se estabelece uma diferença de potencial elétrico entre os dois cristais, ilustrada na Figura 16. Quanto maior a diferença de potencial, maior será a resistência à passagem de corrente elétrica. Designamos a junção entre estes dois semicondutores de junção *p-n*, porque de um lado da junção há mais portadores de cargas positivas e de outros mais portadores de carga negativa²⁰.

Esta diferença de potencial faz com que o diodo seja um elemento polarizado do circuito, ou seja, sua resistência à passagem da corrente elétrica depende do sentido em que seja acoplado ao circuito elétrico. Dizemos que há duas formas de polarização: a direta e a inversa. Na polarização direta, o pólo positivo do diodo é conectado ao positivo da fonte, e o negativo do diodo, ao negativo da fonte. A repulsão entre as cargas do diodo e da fonte faz com que os portadores de carga existentes nas extremidades do diodo se dirijam para seu meio, diminuindo a altura da barreira de potencial e, conseqüentemente, diminuindo a resistência à passagem da corrente. Ainda assim, só haverá passagem de corrente elétrica se o diodo for submetido a uma tensão maior do que a altura da barreira de potencial. Ou seja, existe um valor mínimo de tensão para que circule corrente. Por exemplo: para diodos de Germânio o valor mínimo é 0.2 V e para diodos de Silício, 0,6V. Quando ligado ao circuito deste modo o diodo emite luz, como veremos em

²⁰ Para uma clara exposição sobre a física envolvida nos diodos, veja GREF (1998, p. 276 a 300).

seguida. Quando a polaridade do diodo é invertida em relação aos pólos da fonte, os portadores de carga do diodo são atraídos pelos terminais da fonte, se afastam do seu meio e provocam um aumento na barreira de potencial, não permitindo a passagem da corrente. Dizemos que o diodo está polarizado inversamente e que por ele circula uma *corrente reversa*. Quando acoplado ao circuito deste modo, se torna sensível à incidência de luz na junção entre os dois semicondutores que compõem o diodo. Quanto maior a intensidade luminosa, maior a corrente reversa. Retomaremos esta questão em seguida.

Existem no mercado vários formatos de diodos, especificados em função dos limites de corrente, tensão e potência. Na Figura 17 apresentamos o símbolo e a representação real de alguns formatos de diodos. O símbolo do diodo representa uma seta que aponta no sentido da corrente convencional.

A principal aplicação de diodos é a retificação de correntes alternadas, devido à característica do diodo de permitir a passagem da corrente elétrica num único sentido. Diodos também são muito utilizados como dispositivo de segurança em circuitos de calculadoras eletrônicas, rádios portáteis e brinquedos.

Diodos emissores de luz

Diodos emitem radiação eletromagnética, na região de contato entre os dois semicondutores que os compõem, quando conduzem corrente elétrica. Esta característica foi desenvolvida para a produção de dispositivos com alta eficiência de conversão de luz, os chamados LEDs (*Light Emitting Diodes*). Os LEDs são feitos de materiais como o Arsenato de Gálio (GaAs) ou Arsenato de Gálio com Índio (GaAsI). A cor emitida por um LED depende do material semicondutor que o constitui. Diferentemente da lâmpada incandescente, que é policromática (emite luz em uma faixa larga de comprimentos de ondas), os LEDs emitem luz em uma faixa estreita de comprimentos de onda.

Um LED emite luz quando ligado no sentido de condução (polarizado diretamente) e submetido a uma voltagem maior que um determinado valor limite. Este valor de tensão é maior que para os diodos comuns de Si e Ge. Por exemplo, para um LED de Arsenato de Gálio (vermelho-escuro, $\lambda = 9100\text{Å}$) a tensão é de aproximadamente 1,3 V, já para um LED de Fosfato de Gálio (luz verde, $\lambda = 5600\text{Å}$) é de aproximadamente 2,2 V.

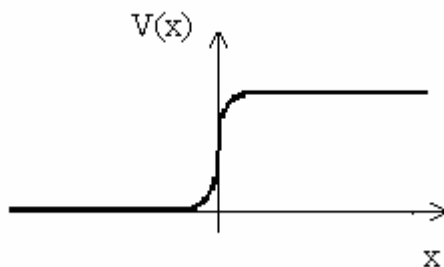


Fig. 16 - Potencial elétrico na região em que se situam dois cristais semicondutores que formam uma junção *p-n*. O limite entre os dois materiais se encontra na posição $x = 0$; na região $x > 0$ há excesso de cargas positivas (pólo positivo do diodo) e na região com $x < 0$, excesso de cargas negativa (pólo negativo do diodo).

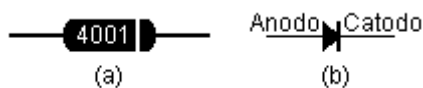


Fig. 17 – Aspecto real e símbolo do diodo.

Ao conduzir corrente o LED apresenta resistência elétrica muito baixa²¹. Por isto nunca se deve ligar um LED diretamente a uma fonte de tensão, sem um resistor para limitar a corrente. O valor máximo de corrente suportada para um LED é de aproximadamente 6mA.

A grande vantagem do uso de LEDs é a produção de luz com baixa potência de entrada, tipicamente de 10 a 150 mW. Outras características importantes são: rápido tempo de resposta, contraste de visibilidade bom, tempo de vida de 100.000 ou mais horas. São usados para mostrar algum tipo de informação visual em aparelhos eletrônicos, como aparelhos celulares, de TV, de som e outros.

Fotodiodos

Fotodiodos são diodos que operam com a junção entre os dois semicondutores que o compõe exposta à luz. Submetidos à *polarização reversa*, circula uma corrente inversa que é linearmente proporcional à intensidade luminosa incidente. Tipicamente, para uma intensidade luminosa de 1 mW/cm² a corrente é da ordem de 65 μ A e para 0,25 mW/cm², 15 μ A. Assim, no escuro a corrente reversa é muito pequena, geralmente da ordem de μ A.

²¹ A resistência depende da intensidade luminosa, mas a grosso modo pode-se dizer que sua ordem de grandeza é de dezenas de kilohms.

Fotodiodos podem ser usados na leitura de códigos de barras ou detecção de fenômenos muito rápidos, com grande eficiência, pois têm como características a sensibilidade e velocidade com que respondem às variações na intensidade de luz incidente, tanto na faixa de radiação visível, quanto infravermelha. A resposta espectral de um fotodiodo de silício, por exemplo, atinge o máximo no infravermelho (em torno de 900nm). Alguns fotodiodos têm coberturas que filtram a luz visível ou a radiação infravermelha.

Fotodiodos também podem produzir energia elétrica. Células solares são um tipo de fotodiodo. Veja Figura 18.

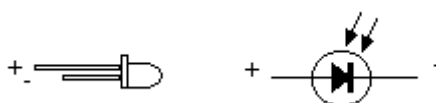


Fig. 18 - Aspecto real e símbolo de um fotodiodo.

Transistores

A palavra transistor vem da expressão em inglês “*transference resistor*”, dispositivo anunciado em 1948 nos Estados Unidos. O transistor é um componente semiconductor que realiza funções importantes como a amplificação e a produção de sinais (se a corrente for alta), e como interruptor eletrônico (se a corrente for próxima de zero) em equipamentos de som, imagem e controles industriais.

Em comparação às válvulas, o transistor tem maior capacidade de amplificar sinais elétricos, é muito menor e consome menos energia, por isto, substituíram as válvulas pouco tempo após sua invenção. Adicionalmente, as válvulas precisavam de uma corrente adicional para aquecer, enquanto o transistor não precisa.

Transistor ou triodo semiconductor pode ser considerado como uma combinação de duas junções $p-n$. As duas junções dividem o semiconductor em três regiões: a região central, comum às demais é chamada de base e, as outras, emissor e coletor. Temos, então, os transistores $n-p-n$ e $p-n-p$. A Figura 19 representa o aspecto real e o símbolo de um transistor típico.

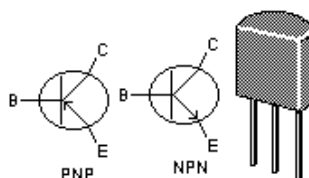


Fig. 19 - Símbolos e aspecto real de um transistor.

A conexão emissor-base é polarizada diretamente, sendo então pequena a resistência ao fluxo de corrente nessa parte do circuito. A conexão base-coletor é polarizada inversamente, havendo então uma

resistência mais alta ao fluxo de corrente nessa parte do circuito. Quando se aplica uma tensão no circuito emissor de forma a estabelecer uma corrente os elétrons que chegam à base são atraídos pela diferença de potencial entre a base²² e o coletor. Quando não circula corrente pela base, não pode haver passagem de corrente entre o emissor e o coletor e o transistor está desligado. Uma pequena corrente aplicada à base permite que o transistor conduza corrente do emissor para o coletor e que uma corrente mais intensa circule por ele.

Fototransistor

O fototransistor (Figura 20) é um componente que funciona baseado no fenômeno da fotocondutividade, com a junção coletor-base exposta à luz, podendo ao mesmo tempo, detectar a incidência de luz e amplificar o sinal.

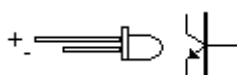


Fig. 20 – Símbolo e aspecto real de um fototransistor.

Fototransistores são mais sensíveis que fotodiodos, gerando correntes da ordem de mA quando iluminados a 1mW/cm^2 . Um fototransistor com “ganho” suficientemente alto pode ser usado diretamente no lugar de um botão de *joystick*. São aplicáveis em câmeras, alarmes luminosos, comunicações com fibras óticas, células fotovoltaicas, etc.

Alto-falante, fones e microfones

Nas medidas automáticas via entrada e saída de áudio propostas neste texto, são utilizados diretamente o microfone e o alto-falante. Os microfones têm por finalidade converter energia sonora em energia elétrica, e o alto-falante converter energia elétrica em energia sonora.

A maior parte dos alto-falantes possui um ímã fixo e uma bobina móvel. Neste tipo de alto-falante as ondas sonoras fazem com que a bobina vibre, produzindo um sinal elétrico, que varia de acordo com as alterações nas vibrações do som. O sinal elétrico produz um campo magnético variável, que interage com o campo do ímã, resultando no movimento do cone do alto-falante. A bobina movimenta o cone do alto-falante e o ar vibra de maneira a produzir as ondas sonoras. A estrutura básica de um alto-falante e de um microfone é mostrada na Figura 21.

²² A base é uma região fina, cuja condutividade é menor que a do emissor.

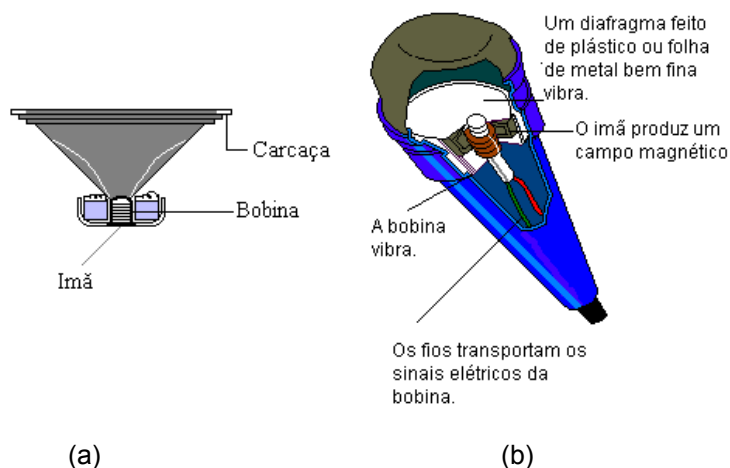


Fig. 21- (a) Alto-falante: a bobina fica presa ao cone e é suspensa dentro do ímã.(b) Microfone: o ímã fica em volta da bobina, que é fixa ao centro do diafragma.

III.2 Aplicação de alguns destes sensores ²³

Mouse

O teclado e o *mouse* são os dispositivos de entrada mais comuns do microcomputador, podendo o *mouse* substituir o teclado em muitas operações. Os movimentos do *mouse* no plano da mesa são acompanhados por um cursor na tela, que se move na vertical ou horizontal. Além destes movimentos, comandos são transmitidos ao microcomputador através de um ou dois cliques nos botões. Vejamos o princípio de funcionamento do *mouse* mecânico.

O *mouse* mecânico possui uma bola ligada a dois discos com ranhuras. Entre os discos existem LEDs e fotodiodos. Quando o *mouse* é arrastado sobre uma superfície, a bola gira, transmitindo o movimento aos dois discos. O feixe de luz emitido pelo LED passa pelas ranhuras à medida que os discos giram, incidindo nos fotodiodos, que transformam o feixe incidente em sinal elétrico. São esses sinais elétricos que, processados pelo microcomputador, produzem os movimentos do cursor sobre a tela e executam as operações associadas aos cliques nos botões. Na referência de Calado et al. (2005) pode-se ver em detalhe o funcionamento de um *mouse*.

²³ Seção baseada em Zaro (2004), Fascinantes (14, 1995).

Leitor de código de barras

Cada produto de um supermercado é especificado pelo seu código de barras, que corresponde a um número na listagem do supermercado. A Figura 22 mostra alguns códigos de barras. O código está na disposição das barras, as colunas brancas e pretas.

Quando o feixe de luz de um leitor de código de barras incide no código de barras do produto, um fotodetector transforma o sinal luminoso em sinal elétrico. Este sinal é transmitido para o microcomputador que contém a lista de todos os produtos e seus preços. O computador identifica o produto pelo número (binário) em sua lista e envia a informação dando no visor, o nome e o preço do produto.



Fig. 22 – Código de barras de três produtos.

Iluminação das ruas

Para o controle automático do acendimento da iluminação, faz-se um circuito composto de um fotorresistor (LDR) em série com a bobina de um relé, e uma chave conectada à lâmpada. A resistência elétrica do LDR diminui com o aumento da intensidade luminosa. De dia a corrente que passa na bobina do relé cria um campo magnético capaz de abrir a chave conectada à lâmpada, que permanece apagada. Ao escurecer, a gradativa diminuição da intensidade luminosa acarreta um aumento da resistência do LDR, diminuindo a corrente elétrica e o campo magnético criado, até anulá-los, fechando a chave, e a lâmpada acende.

Câmara Digital

Na câmara fotográfica normal, a imagem é gravada em um filme, enquanto na câmara digital a imagem é gravada em um dispositivo eletrônico chamado CCD ("*charge-coupled device*"). Os sensores CCDs são monocromáticos, mas conseguem registrar as cores através de filtros de cor. A gravação da imagem com um CCD é feita em três etapas:

- a exposição da luz é convertida em carga elétrica em pontos individuais (*pixels*) do sensor;
- as cargas são transferidas pela movimentação da carga dentro do fotodiodo;
- a carga é transformada em voltagem e, então, descarregada.

O circuito interno de uma câmara digital é similar ao disco rígido de um computador na sua capacidade de armazenar imagens. Quando esse circuito está "cheio", não se pode tirar mais fotos até que se descarregue as imagens em um computador.

Radar Guns

O radar *Gun* é um equipamento utilizado pelo polícia para medir a velocidade. A medida é efetuada através do laser radar, conhecido como lidar. Uma bateria localizada no cabo da pistola gera altas tensões quando o dispositivo é disparado. A alta tensão é aplicada ao laser diodo, que emitirá pulsos de laser infravermelho a cada 5 milissegundos. Filtros recebem os pulsos do raio refletido e o focalizam em um diodo avalanche, convertendo-os em sinais eletrônicos. A distância do objeto alvejado é calculada através de *softwares*, e a análise dos pulsos seguintes indicará as novas posições. A velocidade do veículo é obtida dividindo-se a variação da distância pela variação do tempo.

Touch screens

Algumas lojas ou bancos possuem terminais eletrônicos onde, com um simples toque com o dedo, o cliente pode acessar informações. É o que chamamos de tecnologia toque de tela (*touch screen*). O toque cria estímulos na tela, que são detectados e localizados por suas coordenadas (x e y). São usados diversos métodos para implementar a tecnologia *touch screen*, tais como o resistivo, capacitivo e o infravermelho, que é o mais usado. O método infravermelho é implementado, através do uso de LEDs e fototransistores no contorno da tela, criando, dessa forma, uma grade de luz infravermelha. Ao mover o dedo, para indicar a informação desejada, o cliente obstrui algum dos feixes infravermelho e os fototransistores param de conduzir, gerando informação que permite localizar de que ponto partiu o estímulo na tela. Tocando em mais de um ponto, o sistema prioriza a primeira coordenada fornecida.

As aplicações mais comuns para as telas de toque são as máquinas de auto-atendimento e *Palm Pilots*.

III.3 Sensores e aquisição automática de dados

Diferentemente do microcomputador que somente lê dois códigos (0 ou 1, sim ou não, verdadeiro ou falso), quase tudo em nosso meio varia de forma analógica. Por exemplo, as posições ocupadas por um potenciômetro, quando gira em torno do seu eixo, a variação da intensidade luminosa de um feixe que incide em um fotodiodo, a resistência de um termistor quando imerso em água que resfria. Estas grandezas variam continuamente, ou seja, são sinais analógicos. Um exemplo de um sinal digital é uma lâmpada acessa ou apagada.

Podemos conectar sensores à porta de jogos através da entrada digital ou da entrada analógica. Esta conexão depende do tipo de sensor empregado e do objetivo pretendido. Por exemplo, fotodiodos, embora forneçam uma resposta contínua em função da intensidade luminosa incidente, podem ser usados para fornecer uma resposta binária, se seu sinal for interpretado simplesmente em função de duas leituras: ligado ou desligado (feixe obstruído ou não). Neste caso, a conexão é feita na entrada digital da porta de jogos. Se termistores são empregados na medida de temperatura para monitorar e controlar sistemas térmicos, a entrada a ser utilizada é a analógica, pois os valores de temperatura variam continuamente. É preciso estar atento para qual das entradas deve ser utilizada.

Neste capítulo trabalhamos com os seguintes sensores: fotodiodos, fototransistores, termistores (NTC), LDRs e potenciômetros. Com exceção dos termistores, que respondem a variações de temperatura de forma não-linear, os demais respondem a variações lineares, ou seja, a relação entre o sinal elétrico gerado e a variação da grandeza física é linear.

Sempre que é feita aquisição automática é preciso calibrar o sistema, pois os valores lidos indiretamente para a resistência elétrica na porta de jogos, variam em uma escala de 0 a 65535 unidades arbitrárias. Quando os sensores são lineares a calibragem é muito simples, pois basta conhecer o valor da grandeza física e o valor registrado no microcomputador para um par de valores e pode-se determinar o fator de conversão. Por exemplo, suponhamos que seja empregado um potenciômetro (linear) para registrar o deslocamento angular de um pêndulo. Quando o pêndulo está na vertical verificamos que o valor registrado pelo microcomputador para a resistência é de 3425 unidades arbitrárias e que quando o pêndulo está a 90° , o valor registrado é de 5673 unidades arbitrárias. Como o potenciômetro é linear, podemos dizer a variação de 1° na posição do pêndulo corresponde à variação de $(5673-3425)/90$ unidades arbitrárias.

Para fazer medidas de temperatura com termistores do tipo NTC, a calibragem requer maior cuidado, pois o sensor não é linear e a calibragem envolve três parâmetros. Por isto, ao propor esta atividade neste texto, não temos como objetivo maior fazer medidas quantitativas da temperatura. Interessa-

nos apenas ilustrar que um termistor permite fazer medidas de temperatura. Promover uma discussão sobre o comportamento linear e não-linear dos sensores pode ser muito importante sob o ponto de vista de formação do estudante. Esta discussão poderia ser enriquecida utilizando também potenciômetros lineares e não-lineares.

Sistemas de detecção automatizados

Para acoplar componentes eletrônicos à porta de jogos (localizada na parte posterior do micromputador) são necessários conectores do tipo DB15. O conector DB15 possui na parte posterior a numeração respectiva a seus pinos (de 1 a 15) impressos em relevo (Figura 23). Cada um dos pinos tem uma função: os pinos 2, 7, 10 e 14 correspondem à entrada digital; os pinos 3, 6, 11 e 13 à entrada analógica, os pinos 4 e 5 ao fio terra e os pinos 1, 9 e 15 são submetidos à tensão de 5 V. Podem ser conectados sensores a todas as entradas, o que significa, que, até oito grandezas físicas podem ser medidas simultaneamente. Independente da montagem efetuada, nas atividades expostas neste texto, usamos o pino 4 para o terra e o pino 1 para a tensão. Outros detalhes a respeito da conexão à porta de jogos foram fornecidos no Capítulo II.

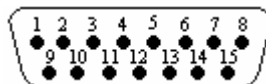


Fig. 23 - Representação do conector DB15

Usando a entrada analógica

Para conectar sensores à porta de jogos usando a entrada analógica, um dos seguintes pinos deverá ser usado 3, 6, 11 ou 13. Mais de um sensor pode ser utilizado simultaneamente, porém por razões didáticas optamos por utilizar isoladamente cada sensor.

A Figura 24 mostra a soldagem dos dois fios ao conector DB15. Observe que um fio está conectado à tensão de 5 V (pino 1) e o outro ao pino correspondente à entrada analógica (pino 3). O sensor, por exemplo, um NTC, é soldado a uma das entradas analógicas, no caso o pino 3. Para que o *software Aqdados* leia corretamente os valores das medidas é necessário ligarmos em curto pelo menos uma das entradas analógicas. A Figura 24 esquematiza as ligações citadas.

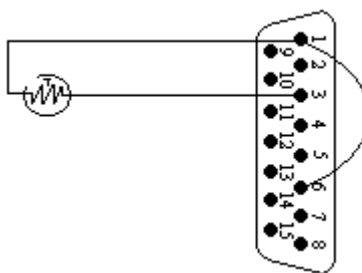


Fig. 24 - Esquema da soldagem do sensor à entrada analógica, incluindo a ponte entre o pino 1 (5 V) e o pino 6 (em curto).

Usando a entrada digital

Para utilizar a entrada digital da porta de jogos, os sensores são soldados em um dos pinos 2, 7, 10 ou 14. A Figura 25 mostra a soldagem dos fios ao conector DB15. Observe que um fio está conectado ao terra (pino 4) e o outro ao pino correspondente à entrada digital (pino 2). À entrada digital, na figura o pino 2, podemos soldar um sensor ótico (LDR, fotodiodos, fototransistores) ou magnético (*reed-switch*). Para que o *Aqdados* faça a(s) leitura(s) da(s) entrada(s) digital(is) corretamente, é necessário que ao menos duas entradas analógicas não permaneçam em aberto. É importante lembrar que nunca se deve soldar um LED, ou um fotodiodo emissor diretamente à fonte, sem alguma resistência em série.

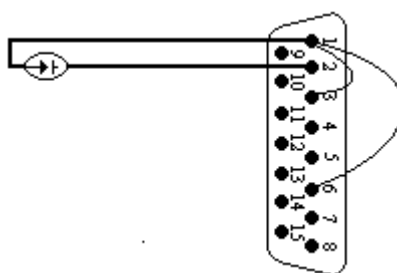


Fig. 25 – Esquema de soldagem do sensor à entrada digital, incluindo as pontes.

III.4 Atividades para os alunos

No Apêndice apresentamos um guia para atividades dos alunos. Em essência, pretende-se que o aluno manipule uma série de sensores: *NTC*, *LDR*, *fotodiodos*, *fototransistores*, *potenciômetros* e observe

que variando determinada grandeza física, o sensor alterará alguma propriedade elétrica (resistência ou corrente). Como tomaria muito tempo para que todos os alunos manipulassem todos sensores, e também porque cremos, ancorados em Vigostky (2003), que a troca de significados através da discussão em pequenos e entre estes e o grande grupo, auxilia a aprendizagem, propomos que os grupos trabalhem com diferentes sensores e depois apresentem ao grande grupo suas impressões.

A primeira atividade consiste em medidas manuais, com multímetro, em que o aluno deve observar que, variando determinada propriedade física, o valor da resistência medida varia. O aluno será, então, instigado a propor alguma experiência que possa ser feita com o sensor escolhido, que permita investigar a grandeza física em questão.

Na segunda atividade o microcomputador lerá automaticamente as variações do sinal elétrico. Para isto é necessário um *software* que leia e registre os valores do sinal elétrico na porta de entrada. Recomendamos Aqdados 2.0 (Araujo, 2005), que possibilita medir via entradas digitais e analógicas da porta de jogos. Este *software* é livre e encontra-se disponível para *download* (Araujo, 2005).

A terceira atividade tem por objetivo mostrar que é possível fazer medidas utilizando mais de um sensor ao mesmo tempo, como também utilizar as entradas digitais e analógicas simultaneamente. Para facilitar a conexão, construímos, em um pequena caixa plástica (5cm x 7cm x 2 cm), o circuito elétrico mostrado na Figura 26. Para a ligação das entradas analógicas (A1, A2, A3, A4) e digitais (D1, D2, D3, D4) perfuramos a caixa e usamos “jacks” encontrados em lojas de eletrônica. As entradas digitais (D1, D2, D3, D4), correspondem aos pinos 2, 7, 10 e 14 do conector DB15, e as entradas analógicas (A1, A2, A3, A4) aos pinos 3, 6, 11 e 13. Estas ligações não estão mostradas na figura. Nela enfatizamos o fato que as entradas digitais devem estar ligadas em paralelo ao pino 4 e as entradas analógicas ao pino 1.

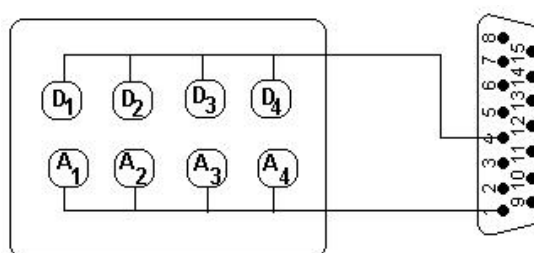


Fig. 26 – Circuito eletrônico que permite o uso de várias entradas simultaneamente.

Há uma série de experiências que envolvem aquisição automática de dados disponíveis em Veit et al. (2005), que recomendamos.

IV. MEDIDAS DE TEMPO

Nesta atividade utilizamos a entrada digital da porta de jogos (porta *joystick*) para medidas de tempo. Propomos a construção de um equipamento de custo baixo, constituído basicamente de diodos emissores e fototransistores conectados à porta de jogos. Diodos emissores e fototransistores são componentes eletrônicos cuja resistência elétrica varia quando muda a intensidade luminosa a que estão expostos. A fim de auxiliar o professor na construção do equipamento sugerido, descrevemos passo-a-passo a montagem do mesmo.

A entrada digital da porta de jogos detecta dois valores de leitura: 0 e 1 (alto e baixo). Com o objetivo de dar uma noção ao aluno de como o microcomputador faz a leitura, o processamento e armazenamento de dados, sugerimos inicialmente uma atividade de revisão dos sistemas numéricos decimal e binário.

IV.1 Sistemas numéricos: decimal e binário

Propomos fazer uma breve revisão do sistema usual na nossa linguagem matemática: o sistema numérico decimal. A partir desta revisão exploramos o sistema binário, que é o sistema utilizado pelos microcomputadores.

A base de qualquer sistema de numeração é dada pelo número de símbolos diferentes no qual está baseado. O sistema decimal tem dez símbolos, portanto, a potência utilizada é 10, o sistema binário tem somente dois símbolos, a potência utilizada é 2, o sistema octal tem 8 dígitos por base e o hexadecimal, 16. O sistema binário foi criado no século dezessete pelo matemático alemão, Gottfried Wilhelm Von Leibniz.

No guia do aluno são propostas algumas atividades; aqui temos sugestões de idéias adicionais a propor para os alunos mais interessados (com as respectivas respostas);

- i) escrever os números decimais de 1 a 14 em binário, conforme consta na Tabela 5.
- ii) considerar a soma de números binários.

Lembremos que na soma de decimais, ao se somar a unidade (1) ao maior dígito (9) se reproduz o menor dígito (0) e leva-se uma unidade para a casa decimal superior. Assim $1 + 9 = 10$. Analogamente ocorre na soma de binários. Ao se somar a unidade (1) ao maior dígito binário (1), obtém-se o menor dígito (0) e leva-se uma unidade à casa mais à esquerda. Assim: $01 + 01 = 10$.

Como exercício, considerar a soma de alguns dos números binários e o valor correspondente no sistema decimal, conforme consta na Tabela 6.

Da mesma forma que acontece no sistema decimal, também temos números que são expressos em potências de expoente negativo. Por exemplo, o número binário 0,001 corresponde ao número 0,125 no sistema decimal, pois

$$0 \times 2^{-1} = 0$$

$$0 \times 2^{-2} = 0$$

$$1 \times 2^{-3} = 1 \times 1/8 = 0,125$$

$$\text{Soma} = 0 + 0 + 1/8 = 0,125$$

Tabela 5: Exemplos de números escritos na base decimal e binária.

Decimal	Binário	Decimal	Bin
$1 = 2^0$	0001	$8 = 2^3$	1000
$2 = 2^1$	0010	$9 = 2^1 + 2^3$	1001
$3 = 2^1 + 2^0$	0011	$10 = 2^1 + 2^3$	1010
$4 = 2^2$	0100	$11 = 2^0 + 2^1 + 2^3$	1011
$5 = 2^0 + 2^2$	0101	$12 = 2^2 + 2^3$	1100
$6 = 2^1 + 2^2$	0110	$13 = 2^0 + 2^2 + 2^3$	1101
$7 = 2^0 + 2^1 + 2^2$	0111	$14 = 2^1 + 2^2 + 2^3$	1110

Tabela 6: Soma de números na base decimal e binária.

Binário	Decimal
$0001 + 0001 = 0010$	$1 + 1 = 2$
$0001 + 0010 = 0011$	$1 + 2 = 3$
$1000 + 1010 = 10010$	$8 + 10 = 18$
$0010 + 0001 + 0001 = 0100$	$2 + 1 + 1 = 4$
$0101 + 0110 + 1000 = 10011$	$5 + 6 + 8 = 19$

Agora veremos a conversão da base decimal para a base binária. Na Figura 27 exemplificamos esta conversão.

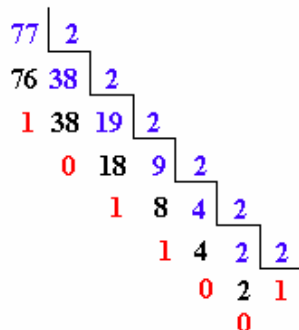


Fig.27 – Exemplo de conversão de base decimal para binária.

Assim, $77_{(10)} = 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1_{(2)}$

Dica: Esta atividade pode ser utilizada para auxiliar no trabalho com notação científica. Sabemos que os alunos encontram grandes dificuldades para utilizá-la e compreendê-la.

Interessante ilustração animada para a visualização de dimensões microscópicas a astronômicas pode ser encontrada no endereço:

<http://www.micro.magnet.fsu.edu/primer/java/scienceopticsu/powersof10/index.html>.

IV.2 Medida de tempo via entrada digital porta de jogos

Para medida de tempo construiremos um sensor ótico constituído de um diodo emissor (LED infravermelho²⁴) e um fototransistor receptor. O princípio de funcionamento do sensor ótico é simples: se não há nenhum objeto obstruindo o feixe de infravermelho emitido pelo diodo, se estabelece uma corrente no circuito; quando há obstrução, esta corrente é interrompida. Em linguagem binária poderíamos dizer que quando o receptor é atingido pelo feixe infravermelho, o sistema permanece no estado lógico 0 (nível baixo), ao bloquear o sinal luminoso, o sistema passa para o estado 1 (nível alto).

Materiais necessários:

- diodos emissores (LED) - infravermelho (5 ou 3 mm)
- fototransistores receptores - infravermelho (5 ou 3 mm)

- resistores de 330Ω
- fio paralelo de três vias (existem no mercado fios paralelos coloridos, o que facilita na construção do sensor)
- conector DB15 macho
- soldador e solda para estanho
- multímetro
- chave de fenda, alicate, estilete
- esferas de aço ou bolitas de vidro.

Diodo emissor e fototransistor

À primeira vista o diodo emissor e o fototransistor parecem ser visualmente idênticos. Mais importante que saber diferenciá-los visualmente é entender qual o fenômeno físico envolvido nos componentes. Uma noção de como funciona um diodo ou um fototransistor já foi discutida no Capítulo II.

Como podemos diferenciar um diodo emissor e um fototransistor?

Duas formas podem ser utilizadas para diferenciá-los:

- visual: colocando ambos voltados para o observador, se percebe um ponto preto (quadrado) no fototransistor;
- medida: medidas da corrente elétrica em ambos com o multímetro, conforme dicas que seguem.
-

Para medir a corrente no diodo: com a chave seletora na posição diodo, veja a Figura 28, é possível medir a corrente elétrica no diodo de maneira mais prática. Lembre que em um diodo só haverá passagem de corrente elétrica quando a polaridade do diodo estiver correta. Uma forma mais simples de observar visualmente a polaridade do diodo é observar as “extremidades” do mesmo. A mais comprida corresponde ao positivo e a menor, ao negativo, como mostra a Figura 29.

Para medir a corrente no fototransistor: a chave seletora deve estar na posição corrente elétrica contínua. No fototransistor receptor a corrente elétrica varia de acordo com a intensidade luminosa. É necessário observar a polaridade.

²⁴ LED: do inglês *light emission diode*

IV.2.1 Montagem do sensor de medida de tempo

A conexão dos componentes eletrônicos à porta de jogos é feita utilizando um conector do tipo DB15, que pode ser encontrado facilmente em lojas de eletrônica. (O custo deste conector e de sua respectiva “capa” é aproximadamente o valor de um refrigerante.) O conector possui pequenos números impressos em relevo, como mostra a Figura 23.

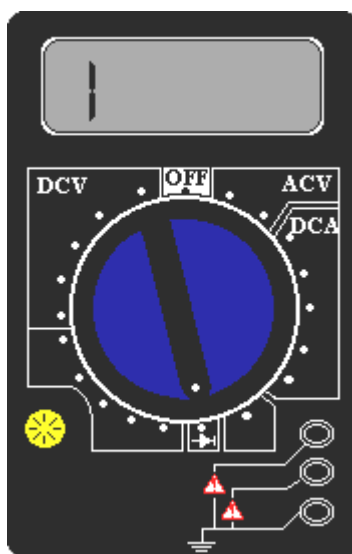


Fig. 28 - Indicação da chave seletora para medida de diodo.

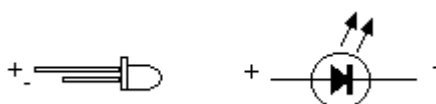


Fig. 29 – Aspecto de um diodo emissor e respectivo símbolo.

É preciso soldar ao conector DB15 as três vias do fio paralelo. Em quais pinos deverão ser realizadas as soldas? A Tabela 4 mostra a função de cada um dos pinos da porta de jogos. Observe na respectiva tabela que os pinos 2, 7, 10 e 14 correspondem à entrada digital e os pinos 4 e 5, ao fio terra (0 V). Assim, uma possibilidade é soldar uma via no pino 1 (5V) e outra no pino 2 (entrada digital) e a terceira via no pino 4 (ou pino 5) que corresponde ao fio terra. Esta é a opção que usamos em nosso trabalho, cujo esquema de soldagem está representado na Figura 30 (a).

Sugerimos o uso do fio de três vias colorido para facilitar a visualização de qual fio está conectado ao pino 1, ao pino 2 e ao pino 4, pois num segundo momento estes deverão ser ligados ao diodo emissor e ao fototransistor receptor.

É possível fazer medidas simultâneas, isto é, mais de uma entrada digital pode ser utilizada simultaneamente. É possível, inclusive, usar entradas digitais e analógicas simultaneamente. Isto é comentado mais detalhadamente na atividade: “Utilizando sensores”. Nesta atividade de medida de tempo utilizamos somente uma entrada digital.

Dica: Feita a soldagem, é recomendado conferir as ligações antes de continuar a montagem. Isto pode ser feito acoplado o conector DB15 na porta de jogos do microcomputador (localizada na parte posterior do processador) e com o multímetro verificar se entre os fios conectados aos pinos 1 e 4 existe uma diferença de potencial de ~ 5 V. Como já foi dito, a porta de jogos é uma entrada segura, por isso, não há perigo de “choque elétrico”.

Dica: Se os alunos não participarem da construção do equipamento, sugerimos que o professor distribua aos alunos um sistema do sensor ótico em construção para que eles conectem à entrada da porta de jogos e com o multímetro verifiquem a diferença de potencial entre os fios conectados ao pino 1 e ao pino 4 (~ 5 V). Com isso é o aluno verificará que há uma diferença de potencial para a alimentação do circuito.

Com o propósito de limitar a corrente que passa no diodo emissor, é necessário ligá-lo em série com um resistor, observando a sua polaridade. Veja a Figura 30 (b). O anodo (extremidade mais longa) deverá ser ligado ao resistor e este no pino 1 (~ 5 V) e o catodo (extremidade mais curta) ao pino 4 (fio Terra).

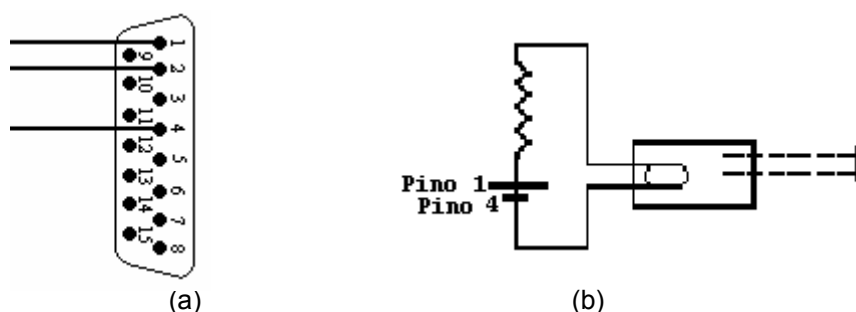


Fig.30 - Esquema de (a) soldagem dos três fios paralelos no conector e (b) ligação do resistor e diodo emissor.

O fototransistor receptor deverá estar conectado ao pino 4 (fio Terra) e em uma das entradas digitais 2, 7, 10 ou 14. Usamos o pino 2. A polaridade do fototransistor também deverá ser observada. A Figura 31 (a) representa o esquema do circuito.

Na montagem final do equipamento, optamos por ligar em série dois diodos emissores e dois fototransistores receptores, como mostra a Figura 31 (b), para a determinação de velocidades instantâneas em dois pontos distintos da trajetória. Mais sensores em série poderiam ter sido utilizados. A Figura 33 mostra fotos da montagem do sensor.

Antes de concluir a montagem é importante conferir as ligações. Para isso medimos a diferença de potencial entre os terminais do diodo, que deve ser de aproximadamente 1,2 V, com o sistema conectado ao microcomputador.

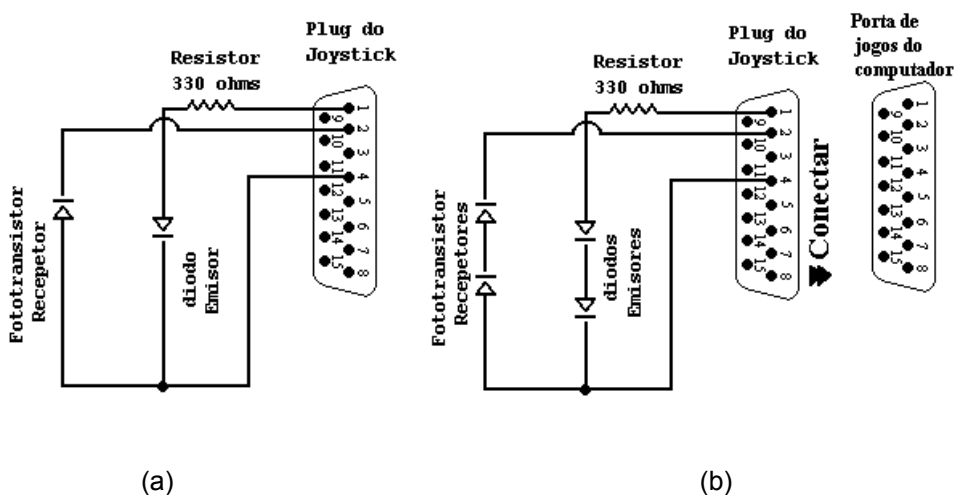


Fig.31 - (a) Diagrama do sistema de detecção e (b) Sensores ligados em série.

O sistema ótico pode ser colocado em um suporte feito com “blocos de lego”, por exemplo, conforme Figura 32. Deve-se ter o cuidado para que o emissor e receptor fiquem firmes e na mesma altura.

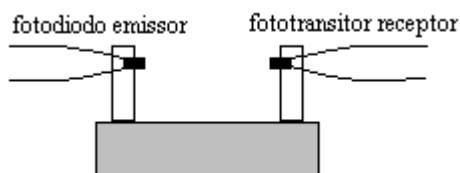
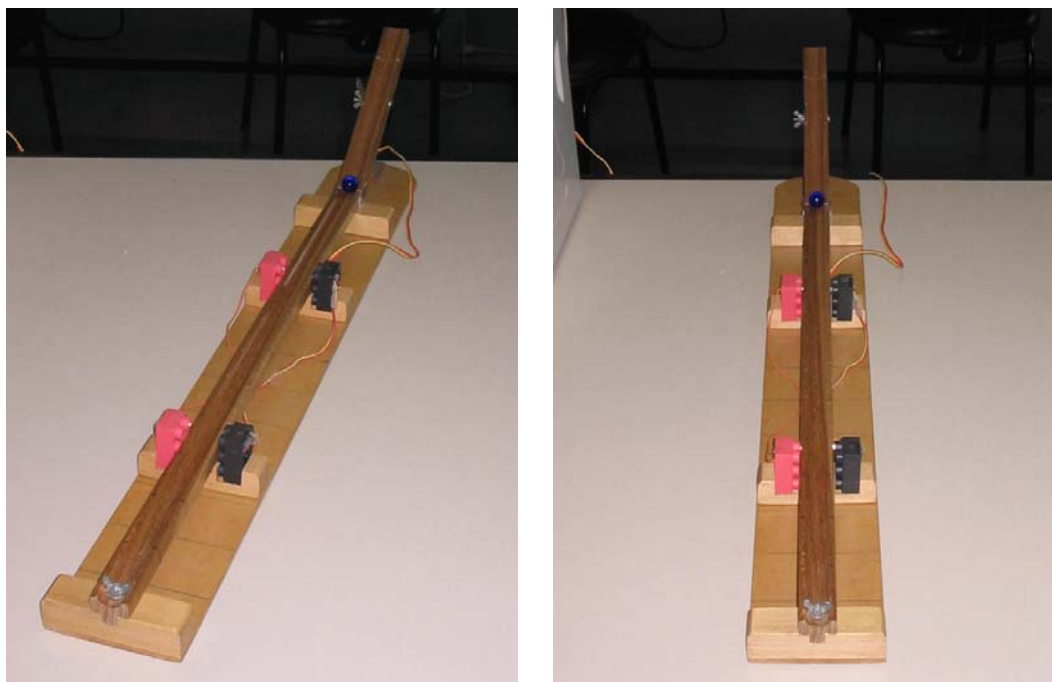


Fig. 32 – Esquema de suporte do sensor

Para que o equipamento seja mais resistente, optamos por montar todo conjunto em um suporte de madeira, que serve como trilho para a bolita de vidro rolar. (Figura 33).



(a)

(b)

Fig. 33 –(a) vista lateral do equipamento pronto e (b) vista superior do equipamento pronto.

IV.3 Software de aquisição e resultados típicos

Terminada a etapa de montagem do equipamento, é necessário um *software* para a leitura dos valores de entrada da porta digital e armazenamento de dados, conforme descrito no Capítulo II. Nesta atividade optamos pelo *Microsoft Excel*, com rotinas escritas na linguagem *Visual Basic*. Uma rotina lê continuamente a porta digital e o tempo de máquina do microcomputador em milissegundos. O arquivo *medida_tempo.xls* contém quatro planilhas para a aquisição de dados.

A planilha **tempo0** faz a leitura da porta digital em intervalos de tempo iguais. Enquanto o feixe de infravermelho incide no fototransistor o valor lido na entrada digital é 0; enquanto o feixe está obstruído o valor lido é 1. A primeira coluna registra o valor de um contador interno e a segunda o estado lógico da porta quando acessada. Ao teclar no botão iniciar, uma nova seqüência de medidas é realizada, sendo geradas sucessivamente duas novas colunas com os valores do contador e do estado lógico, conforme a Figura 34.

A planilha **tempo1** apresenta o intervalo de tempo, em milissegundos, durante o qual o feixe permanece obstruído. Cada acionamento do botão iniciar propicia uma nova medida e o intervalo de tempo de obstrução é registrado em nova célula na mesma coluna, conforme pode ser visto na Figura 35. O uso destas planilhas tem como objetivo dar elementos para que os alunos compreendam que o microcomputador processa os sinais elétricos que lhe são enviados, executando operações via *software*.

A planilha **tempo2** é apropriada para a situação em que há dois sensores em uso e se deseja determinar o intervalo de tempo que um móvel demora a se deslocar entre os dois sensores. Resultados típicos são apresentados na Figura 36. Com esta planilha podem ser explorados os conceitos de velocidade média e movimento uniforme.

A Figura 37 apresenta valores obtidos com a planilha **tempo3**. Neste caso também há dois os sensores em uso. Em cada coluna a primeira (segunda) linha mostra o intervalo de tempo durante o qual o objeto obstrui o primeiro (segundo) sensor. Esta planilha é útil para explorar os conceitos de velocidade instantânea, aceleração média e movimentos uniforme e variável.

Uma sugestão de atividades a serem desenvolvidas com estas quatro planilhas são descritas detalhadamente no “Guia do aluno: Medidas de Tempo”, apresentado no Apêndice. Outras alternativas podem ser criadas por professores e/ou alunos.

IV.4 Comentários

Esta montagem experimental permite que se obtenham resultados com precisão suficiente para que sejam construídos gráficos de posição, velocidade e, mesmo aceleração, em função do tempo, permitindo o estudo quantitativo das grandezas da cinemática. Para que isto ocorra, entretanto, são necessárias muitas medidas, requerendo tempo e cuidado no trabalho. Tradicionalmente o único modo de implementar este tipo de atividade em sala de aula era fornecendo aos alunos roteiros detalhados – muitas vezes ao estilo de receitas de cozinha. Nos dias atuais, se tem plena consciência (Borges, 2002) que atividades experimentais do tipo tradicional, além de desmotivarem o aluno, são pouco efetivas para a aprendizagem significativa. Por isto, embora o sistema automático tenha precisão excelente e permita um estudo quantitativo, não é esta nossa proposta. Entendemos muito mais relevante acentuar os aspectos conceituais. Caso haja alunos mais interessados, poderiam trabalhar em atividades como descritas abaixo.

Medidas quantitativas de precisão: para diferentes valores da distância entre os sensores – sugerem-se cinco valores – coletar várias medidas para o intervalo de tempo gasto pela bolinha para se mover entre um sensor e outro – tipicamente dez medidas. (A bolinha deve ser cuidadosamente solta sempre da mesma posição.) Estes dados permitem construir gráficos da posição x versus o tempo t , tomando como zero o instante em que a bolinha passa pelo primeiro sensor. É interessante discutir a precisão das medidas e a necessidade de se considerar um valor médio para os intervalos de tempo

considerados no cálculo de velocidades médias. Estes valores, calculados para os diferentes percursos, podem ser comparados com a inclinação da reta tangente à curva x versus t .

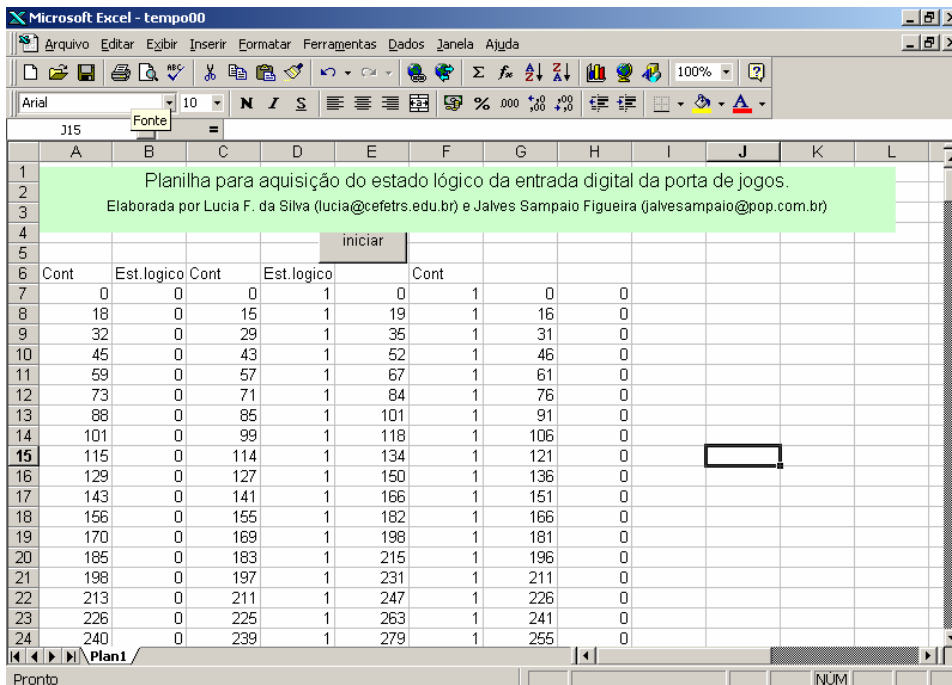


Fig. 34 - Valores obtidos utilizando a planilha tempo0.

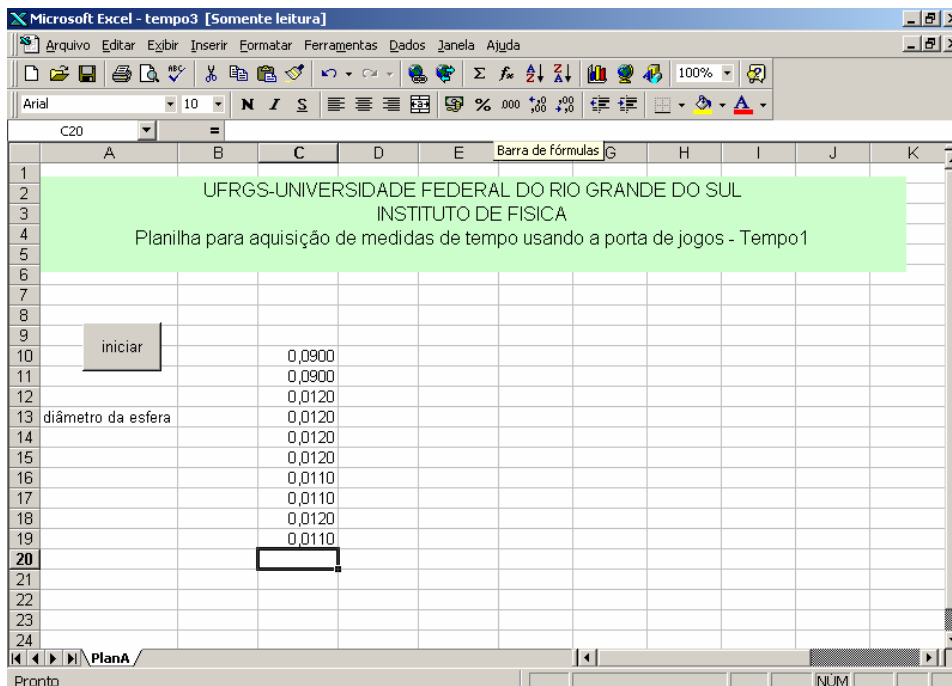


Fig. 35- Exemplo de valores obtidos utilizando a planilha tempo1.

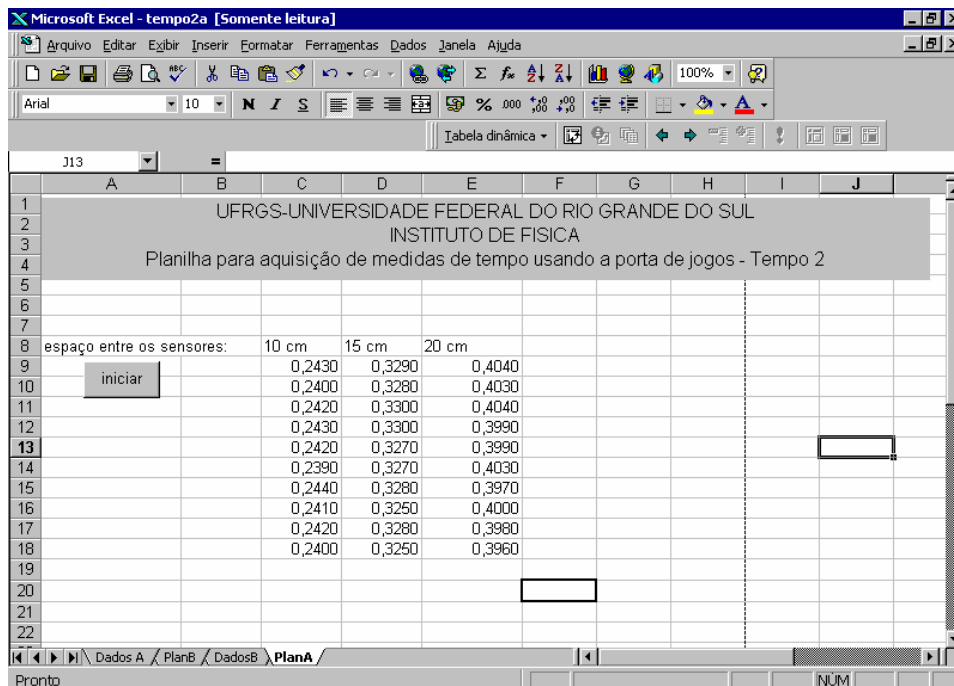


Fig.36 - Exemplo de valores obtidos utilizando a planilha tempo2.

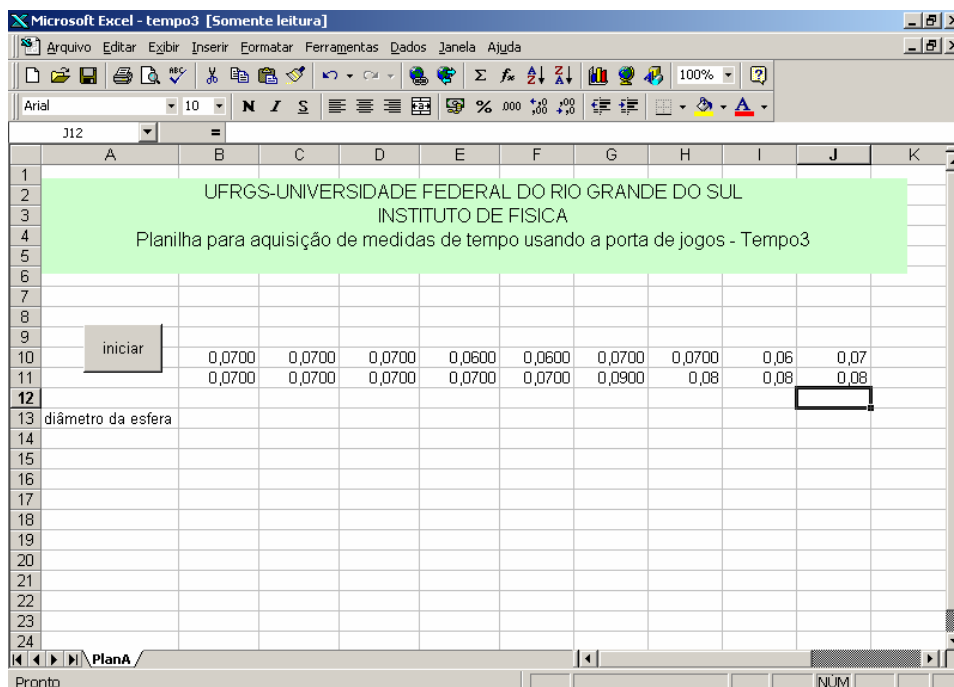


Fig. 37 - Exemplo de valores obtidos utilizando a planilha tempo3.

As Tabelas 7 e 8 mostram valores típicos obtidos com as planilhas tempo1 e tempo3. No primeiro caso usamos o equipamento para estudo do movimento uniforme, no segundo caso para o estudo de movimento uniformemente variado.

Tabela 7- Valores obtidos com a planilha tempo2.

distância	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀
10 cm	0,024	0,242	0,243	0,242	0,239	0,244	0,241	0,242	0,240	0,243
15cm	0,329	0,328	0,330	0,330	0,327	9,327	0,328	0,325	0,328	0,327
20 cm	0,404	0,403	0,404	0,399	0,399	0,403	0,397	0,400	0,398	0,400

A Tabela 8 apresenta os valores obtidos com a planilha tempo3, a primeira coluna mostra o intervalo de tempo de obstrução do primeiro sensor (Δt_1), e a segunda coluna o intervalo de tempo de obstrução do segundo sensor (Δt_2).

Tabela 8- Valores obtidos com a planilha tempo3.

Δt_1	0,066	0,067	0,065	0,066	0,064	0,065	0,066	0,064	0,064	0,065
Δt_2	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,029	0,028	0,028

V. ONDAS MECÂNICAS

Até bem pouco tempo, muitas das interessantes atividades experimentais de ondulatória esbarravam na inexistência de equipamentos como freqüencímetro, gerador de sinais e osciloscópio nos laboratórios das escolas de ensino médio. Atualmente, a inexistência destes equipamentos não impede a realização de tais atividades, pois com um microcomputador com placa de som e um dos muitos *softwares* livres, estes instrumentos podem ser substituídos.

Nas atividades de ondas mecânicas usamos a placa de som do microcomputador via entrada e saída de áudio. Mostramos que com um microcomputador com placa de som instalada, microfones e alto-falantes, temos uma excelente maneira de desenvolver tais atividades, em especial as que envolvam a geração e visualização de sinais sonoros.

Apresentamos três atividades experimentais²⁵ - *Ondas transversais*, *Ondas Longitudinais I* e *Ondas Longitudinais II*, nas quais o microcomputador é utilizado em todas as etapas do processo: introdução dos conceitos, exercícios de simulação e atividades experimentais. Para isso, elaboramos um hipertexto relativo ao tema *Ondas Mecânicas* que contém várias animações em JAVA (Davidson, 2005), em que é possível a exploração dos conceitos em estudo por parte de alunos e professores. O hipertexto está disponível em Silva et al. (2005a). Recomendamos fortemente que o leitor explore este material, onde são abordados os conceitos relevantes para o estudo de ondas mecânicas, tanto transversais quanto longitudinais, conforme discriminamos no que segue.

Nas três atividades experimentais relativas a ondas, usamos o microcomputador, caixas de som para a geração de sinal e o microfone para a captação de sinais. Utilizamos alto-falantes da caixa de som do microcomputador²⁶, que são fixos em uma base de madeira, na qual foi colocada uma entrada para conexão à caixa de som. Para a experiência de corda vibrante, no diafragma do alto-falante fixou-se um pequeno suporte plástico, com um furo, pelo qual passa a corda.

Para facilitar o uso de uma mesma caixa de som nas três atividades, colocamos uma chave na lateral designada por "T - L" (transversal-longitudinal), com a qual é possível produzir, ou não, som na geração do sinal. (Veja a Figura 40) Por exemplo, na atividade de produção de ondas em uma corda, é necessário gerar sinais de modo a produzir vibração na corda. O som produzido pela caixa ao gerar o respectivo sinal não é necessário e colocamos a chave na posição "T". Note que a importância da caixa se restringe à conexão com o microcomputador e transmissão do sinal ao alto-falante.

²⁵ Atividades baseadas em Cavalcante et al. (2003).

²⁶ Poderiam ser alto-falantes

A amplitude da onda na corda é proporcional ao volume. Sugerimos que seja usado o máximo. Já nas atividades relativas a ondas longitudinais, o que nos interessa é o som produzido ao gerar o sinal, e colocamos a chave na posição “L”.

V. 1. Ondas mecânicas transversais

Esperamos que os alunos possam:

- compreender conceitos relevantes da mecânica ondulatória utilizando as animações em JAVA (Davidson, 2005);
- utilizar o microcomputador para gerar e analisar sinais sonoros em tempo real;
- produzir ondas estacionárias em cordas, verificando a existência de frequências naturais;
- relacionar estas frequências com as produzidas em instrumentos de corda;
- determinar a velocidade de propagação da uma onda estacionária em uma corda.

-
-
-
-
-
-

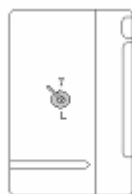


Fig. 40 - Chave "T - L".

V.1.1 Explorando animações

Sugerimos que inicialmente o professor dê uma visão panorâmica dos conceitos envolvidos nas simulações computacionais do material que consta em Silva et al. (2005a), indicadas da Tabela 9, em seguida os alunos exploram as simulações indicadas e numa terceira etapa, o professor coordene uma discussão conjunta com os diversos grupos, sobre os tópicos abordados.

V.1.2 Experimento: ondas estacionárias em cordas.

Para ilustrar os conceitos, propomos a experiência de produção de ondas estacionárias em uma corda. Após terem sido apresentados à montagem experimental e respectivo *software* de geração de sinais, espera-se que os estudantes, em uma discussão coordenada pelo professor, conheçam como produzir os

harmônicos fundamentais na corda, quais as variáveis relevantes do problema e que tipo de medidas precisam ser tomadas para determinar a velocidade da onda. Para que possa ser investigada a influência da massa suspensa e da densidade linear da corda, sem que seja necessário um tempo muito grande, sugerimos que cada grupo trabalhe com diferentes valores para o peso suspenso e diferentes cordas. Ao final, o professor pode sugerir que façam o cálculo da densidade linear do fio, lembrando-os da relação existente entre velocidade da onda, tensão do fio e densidade linear.

Tabela 9: Simulações exploradas por alunos e professores.

Simulações exploradas pelo aluno	Simulações exploradas pelo professor
Pulsos e ondas	Pulsos e ondas
	Superposição de pulsos 1
Superposicao de dois pulsos 2	
Propagação de pulsos 3	
Superposicao de pulsos 4	
Propagação de pulsos 3	Superposição linear, interferência
Superposicao de pulsos3	Superposição linear, interferência
Parâmetros de uma onda	Parâmetros de uma onda
	Superposição de ondas
Onda estacionária	
Harmônicos fundamentais	Harmônicos fundamentais

Material utilizado:

- *software* de geração de sinais “Sine Wave Generator”;
- caixa de som do microcomputador (na posição T);
- alto-falante com suporte para colocar o fio;
- base de madeira com polia;
- fios de nylon, barbante e cobre de diferentes diâmetros e densidades;
- pesos diversos;
- microcomputador.

A Figura 41 esquematiza a montagem do sistema. Para facilitar as medidas de comprimento do fio (L) e do comprimento de onda (λ) colocamos uma régua na base de madeira com polia, na qual é movimentado o alto-falante.

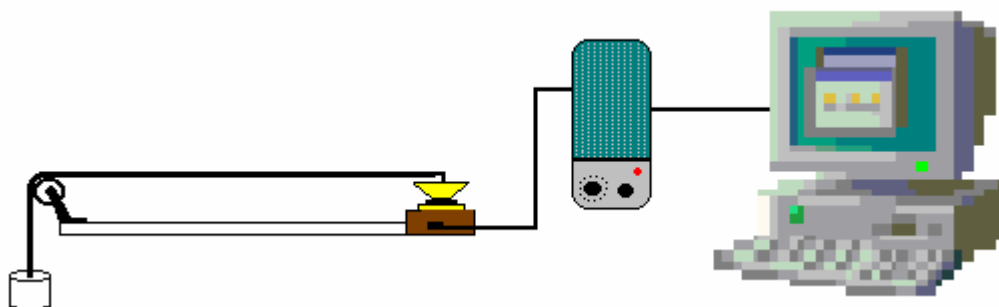


Fig. 41 – Esquema da montagem de ondas transversais.

As atividades estão organizadas de forma que permitam liberdade ao aluno para sua realização, de maneira que façam hipóteses, investiguem e testem soluções, sempre tendo o professor como mediador. Assim, no guia do aluno em vez de apresentarmos uma tabela para que o aluno preencha com os dados coletados, sugerimos que seja feita uma discussão para que os alunos, com a intermediação do professor, construam uma tabela. Uma sugestão é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10: Sugestão de organização dos dados a serem coletados.

Frequência (Hz)	número de ventres	número de nós	Comprimento de onda (cm) comprimento (L)

Para orientação do professor, apresentamos nas tabelas 11, 12 e 13 alguns resultados obtidos em experiências com este material. A corda usada para obtenção dos valores das tabelas 11 e 12 foi um barbante de algodão e na Tabela 13, fio de cobre.

Mesmo que o professor não seja um mestre em música, levar um violão ou qualquer instrumento de corda para a sala de aula e incentivar os alunos a fazê-lo pode ser uma excelente oportunidade para a contextualização de conceitos envolvidos e de maior envolvimento por parte dos estudantes. Ao manusear um violão (ou qualquer instrumento de corda) os alunos têm a oportunidade de observarem e produzirem alguns harmônicos fundamentais, discutirem a importância dos diversos elementos do instrumento

(trastes²⁷, cravelha²⁸, cordas, caixa de ressonância) na produção de diferentes notas musicais e ainda encerrar de forma muito agradável a aula.

Tabela 11 - Massa suspensa de 100g e comprimento da corda de 50 cm.

N	Frequência (Hz)	Comprimento de onda (cm)
1	36	100
2	76	50
3	115	33
4	155	25

Tabela 12 - Massa suspensa de 60g e comprimento da corda de 60 cm.

Harmônico (n)	Frequência (Hz)	Comprimento de onda (cm)
1	38	120
2	77	60
3	120	40
4	162	30

Tabela 13 - Massa suspensa de 20g e comprimento da corda de 43 cm.

Harmônico (n)	Frequência (Hz)	Comprimento de onda (cm)
1	90	86
2	180	43
3	270	28,6
4	360	21,5
5	450	17,2
6	540	14,3

²⁷Trastes são filetes de metal perpendiculares ao braço do violão e que o dividem em casa.

²⁸ Cravelhas são peças normalmente de metal localizadas numa superfície do braço do violão e que servem para tensionar as cordas.

Instrumentos de Cordas

Os instrumentos de corda são tocados de diversas maneiras, de forma a produzirem uma vibração nas cordas. No violão as cordas são dedilhadas. No violino usa-se um arco. No piano, o teclado aciona martelos que batem nas cordas. O som produzido pelas cordas é fraco, e, é amplificado pelo corpo do instrumento. A frequência do som produzido varia de acordo com a espessura, o comprimento e a tensão da corda. Cordas grossas produzem sons mais graves que cordas finas. Ao deslizar as mãos sobre o braço do instrumento, os músicos alteram o comprimento das cordas e com isso, obtêm sons de diferentes frequências.

V.2 Ondas Longitudinais

Esperamos que os alunos possam:

- utilizar o microcomputador para simular, gerar e analisar sinais sonoros em tempo real;
- verificar as frequências de ressonância em tubos de PVC de diferentes comprimentos;
- relacionar estas frequências com as produzidas em instrumentos de sopro;
- calcular a velocidade do som no ar.

V.2.1 Explorando animações

As simulações computacionais estão indicadas na Tabela 14. Uma primeira apresentação panorâmica das simulações, por parte do professor, pode auxiliar como pseudo-organizador prévio. Em seguida, sugerimos que os alunos em grupos explorem e discutam as simulações.

V.2.2 Experimento: velocidade do som

Para o professor que nunca tenha trabalhado com aquisição automática, está é certamente a atividade mais fácil de ser implementada, pois não é preciso nenhuma montagem de equipamento, e que oferece boa precisão. Nela é explorada a produção de ondas estacionárias em tubos, para isso, utilizamos a entrada do microfone da placa de som na captação de sons produzidos em tubos de PVC de diferentes comprimentos e diâmetros. Após a apresentação aos alunos do sistema de detecção e do *software* analisador de espectro espera-se que os estudantes produzam diferentes espectros sonoros, analisem as frequências de ressonância, discutam as relações entre as grandezas físicas como o comprimento e diâmetro do tubo, calculem a velocidade de propagação do som no ar, e finalmente contextualizem o que observaram e produziram com os sons produzidos por diferentes instrumentos musicais de sopro. A proposta de que os grupos trabalhem com tubos de diferentes comprimentos e diâmetros, tem a intenção de

propiciar a oportunidade para que os alunos percebam a relação entre o espectro do som produzido com o comprimento (L) e não do diâmetro do tubo.

Tabela 14: Simulações exploradas por alunos e professores.

Simulações exploradas por aluno	Simulações exploradas por professor
Variações da pressão do ar em tubo	Variações da pressão do ar em tubo
onda sonora	
uma visão microscópica de ondas sonoras	uma visão microscópica de ondas sonoras
onda de deslocamento e de pressão	
uma visão microscópica de ondas sonoras	

Material utilizado:

- *software* analisador de espectro *Spectrogram*;
- microfones;
- microcomputador;
- tubos de PVC de diferentes comprimentos e diâmetros.

Para a análise do espectro, é necessário inicializar o *software Spectrogram*, conectar o microfone ao microcomputador e colocá-lo em uma das extremidades do tubo. Ao bater em um tubo de PVC em uma de suas extremidades com a palma da mão, temos um tubo fechado em uma das extremidades. O som produzido ao bater com a palma da mão na outra extremidade é captado pelo microfone e gravado pelo *software* para posterior análise.

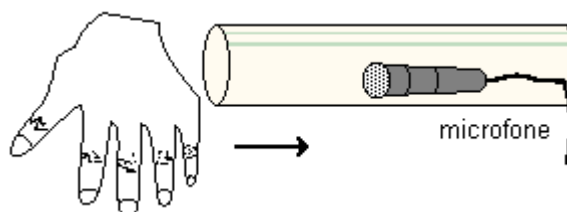
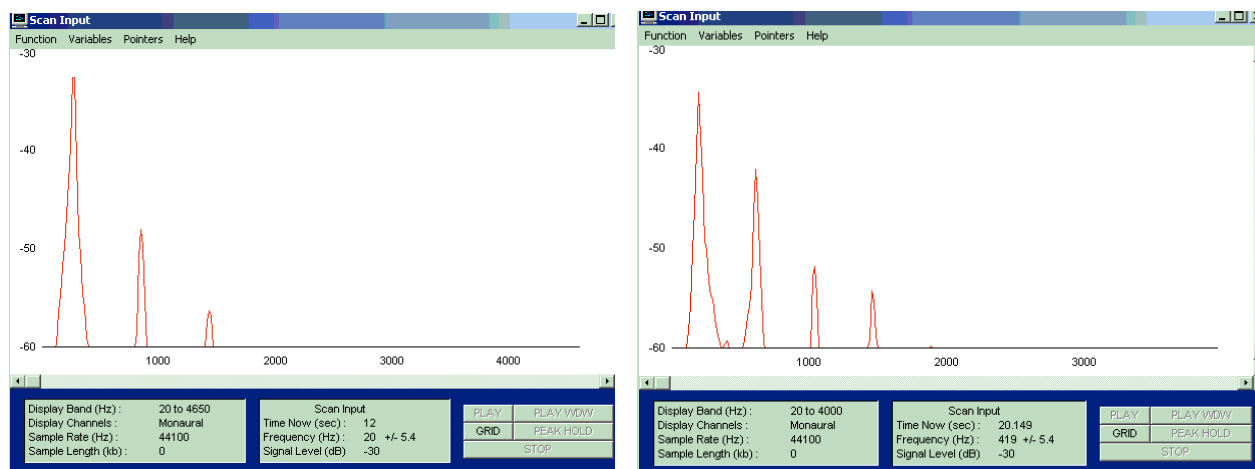


Fig. 42 - Esquema do sistema de detecção.

A Figuras 43 mostra os espectros sonoros produzidos em tubos de 30 e 40 cm, respectivamente.



(a)

(b)

Fig.43 - Espectro sonoro de um tubo de (a)30 cm de comprimento e (b)40 cm de comprimento

Utilizando os valores da frequência fundamental de cada um dos tubos, encontramos o valor da velocidade do som no ar, indicadas na Tabela 15.

Ao ser realizado o experimento a temperatura era de $T = 20^\circ \text{C}$ Utilizando a equação $v = (330,4 + 0,59T) \text{ m/s}$, obtivemos o valor da velocidade do som no ar de $342,2 \text{ m/s}$.

Após a observação e discussão da relação entre comprimento (L) do tubo e som produzido, ou seja, as condições de ressonância para que ocorram ondas longitudinais em tubos, o professor poderá coordenar uma discussão no grande grupo de forma a relacionarem o observado com instrumentos musicais de sopro. Ainda com o objetivo de auxiliar na compreensão do princípio de funcionamento dos instrumentos de sopro, o professor pode sugerir aos alunos que coloquem uma das extremidades do tubo no ouvido, de preferência num local bem barulhento. O som ouvido terá uma frequência determinada. Os tubos reforçam apenas as ondas sonoras que entram em ressonância, aquelas cujas frequências são iguais as frequências relativas aos modos fundamentais.

V.2.3 Experimento: qualidade do som

O desenvolvimento desta atividade prevê a participação ativa dos alunos, através de atividades lúdicas como cantar e tocar, nas quais, os alunos produzem sons diversos, gravam o espectro sonoro obtido, para posterior análise, identificando as três qualidades do som e a grandeza física relacionada a cada uma.

Em Veit et al. (2005) os professores encontram a sua disposição sons produzidos por diversos instrumentos musicais que podem ser usados para análise.

Tabela 15 – Valores da velocidade do som obtidos através do experimento.

Comprimento do tubo (cm)	Frequência Fundamental (Hz)	Velocidade Do som (m/s)
20	420 +/- 5	336 +/- 5
30	286 +/- 5	343 +/- 5
40	211 +/- 5	338 +/- 4
60	140 +/- 4	336 +/- 4

Objetivos

Esperamos que os alunos possam:

- utilizar o microcomputador para gerar e analisar sinais sonoros em tempo real;
- produzir e analisar diferentes espectros sonoros;
- perceber a diferença entre som alto e som baixo, entre som mais intenso e menos intenso;
- identificar a grandeza física relacionada a cada uma das propriedades físicas do som;
- compreender a diferença entre tons puros e composição de harmônicos.
-

Experimento - Estudo das qualidades do som.

Material utilizado:

- *software* analisador de espectro *Spectrogram*;
- *software* gerador de sinais "Sine";
- caixa de som do microcomputador;
- diapasão;
- instrumentos musicais;
- microcomputador.

Aqui o microcomputador é utilizado na geração e na captação de sons. O equipamento é idêntico ao de Longitudinal I acrescido da caixa de som para a geração de sinais. A Figura 44 mostra o espectro sonoro obtido de um diapasão de frequência 256 Hz.

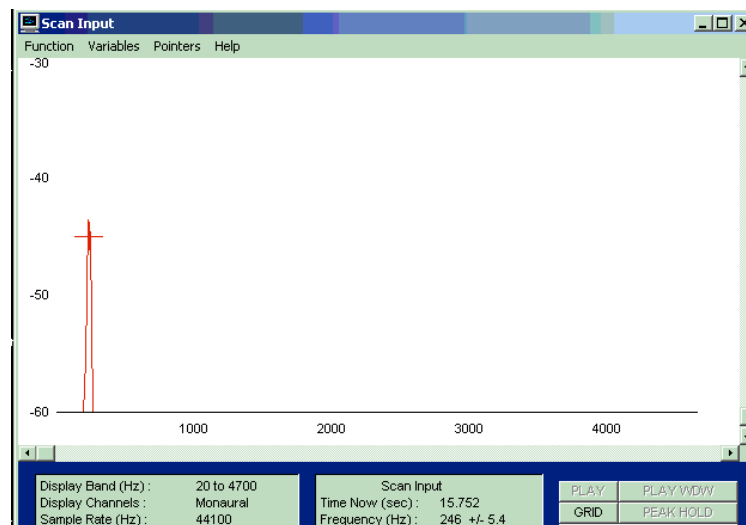


Fig. 44 – Espectro sonoro de um diapasão (256 Hz).

Comentário

Na atividade Longitudinal I os alunos simularam a produção de harmônicos em tubos diversos, e na atividade experimental puderam observar que o som produzido em um tubo (de uma extremidade aberta), é uma composição de diversos harmônicos. É importante ressaltar ao aluno que diferentemente da simulação “Uma visão microscópica de ondas sonoras” (Tabela 14), na qual é possível escolherem um determinado harmônico obtendo tons puros, (como acontece com o som produzido pelo diapasão), isto não acontece em instrumentos musicais (como observado nos tubos). O som produzido quando tocamos qualquer instrumento musical é uma composição de diversos harmônicos, e essa composição de harmônicos difere de instrumento para instrumento. Esta discussão auxiliará ao aluno nas demais atividades propostas. Com o propósito de colaborar no desenvolvimento da referida discussão apresentamos o texto a seguir.

Um pouco mais sobre Timbre

Para compreender o que caracteriza o timbre de um som é preciso entender o que são harmônicos de um som. Um som musical pode ser produzido pela vibração de uma corda, pela vibração de uma coluna de ar ou qualquer outro sistema vibrante, consiste de um harmônico fundamental (tom fundamental) e harmônicos parciais (tons parciais ou sobretons). A superposição dessas configurações resulta no timbre do instrumento. O som produzido pela combinação de harmônicos (tons) separados, chamamos de timbre. O que importa é a quantidade de harmônicos e a intensidade relativa entre eles. Em geral, quanto maior o

número de harmônicos, mais agradável nos parece o som. Sons baseados apenas no fundamental e mais um ou dois harmônicos, soam mais "metálicos". Um tom puro é raramente ouvido na música.

VI. CONCLUSÕES

Neste texto mostramos que o microcomputador, cada vez mais presente nas escolas e nas atividades diárias, pode e deve ser usado no laboratório didático de Física da escola de ensino médio. Aqui o foco do trabalho é a aquisição automática de dados, tendo como interface analógica/digital a placa de som. Descrevemos a utilização da porta de jogos e da entrada e saída de áudio da placa de som, fornecemos os elementos técnicos necessários para que o leitor possa construir as montagens dos sistemas automáticos sugeridos, e apresentamos os *softwares* utilizados para leitura, registro e análise dos dados. Uma experiência didática realizada com estudantes do ensino médio é relatada em detalhes na dissertação de Lucia Forgiarini da Silva (Silva, 2005).

Ilustramos a utilização do microcomputador como instrumento de medida em cinco atividades do tipo aberto, de modo que os estudantes tenham a oportunidade de explorar, testar e discutir possíveis aplicações, tendo o professor como mediador. Indicamos referências com várias outras sugestões de experiências em que o microcomputador é utilizado com um instrumento de laboratório.

Temos a convicção de que motivado, e com o apoio deste texto, o leitor tem condições não somente de reproduzir o material instrucional por nós proposto, quanto de modificá-lo e criar novas alternativas.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C.E.; LAUDARES, F. Aquisição de dados usando Logo e a porta de jogos do PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-380, dez. 2001.
- AGUIAR, C.E.; LAUDARES, F. Listening to the coefficient of restitution and the gravitational acceleration of a bouncing ball. *American Journal of Physics*, College Park, v. 71, n.1, Jan. 2003.
- ARAUJO, I. S. *Aqdados*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/material/joystickNTC.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005. Software para leitura das entradas da porta de jogos
- BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, College Park, v. 62, n. 8, p. 750-765, Ago. 1994.
- BORGES, A. Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.
- BOYLESTAD, R. *Dispositivos eletrônicos e teorias de circuitos*. 5 ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1994. 858 p.
- CALADO, L. AGUIAR, C. E. *Aquisição de dados via porta paralela*. Disponível em: <<http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/infoenci/alunos/leandro/projfinal.html>> . Acesso em: 23 jan. 2005.
- CAVALCANTE, M. A; TAVOLARO, C. R. C. Cuidados na utilização de sistemas de aquisição de dados no ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 247-258, jun. 2000.
- CAVALCANTE, M. A; TAVOLARO, C. R. C. Medir a velocidade do som pode ser simples e rápido. *A Física na Escola*. v. 4, n. 1, p.29-30 maio 2003.
- CAVALCANTE, M. A; TAVOLARO, C. R. C. *Novas Tecnologias no Ensino de Acústica* [2003]. Apostila distribuída na oficina realizada no XV Simpósio Nacional de Ensino em Física. Curitiba, mar. 2003
- DAVIDSON COLLEGE. *Physlet Archive*. Disponível em: <<http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. *Física Quântica: átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Rio de Janeiro: Campus, 1979. 928 p.
- FASCINANTES projetos e experiências que revelam os segredos das máquinas. Barueri: Globo, 1995. (Como as coisas funcionam; 14).
- FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. *Macro_pêndulo: Planilha Excel para leitura da entrada digital da porta de jogos*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/tempo.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.
- FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Usando Excel para Medidas de Intervalo de Tempo no Laboratório de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 25, n.2, p.203-211, set. 2004.
- GRAF. [*Sítio Institucional*]. Disponível em: <<http://axpfep1.if.usp.br/~graf/>>. Acesso em: 23 jan. 2005.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. *Eletromagnetismo*. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999. v. 3
- HAAG, Rafael. Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 176-183, jun. 2001.
- HAAG, Rafael Utilizando novas tecnologias no ensino experimental de eletromagnetismo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15, 2003, Curitiba. *Atas do* Curitiba: CEFET/PR, 2003. p.133-142. 1 CD-ROM.

HAAG, R.; OLIVEIRA, L. M.; VEIT, E. A. Utilizando o microcomputador para medidas de tempo no laboratório didático de física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15, 2003, Curitiba. *Atas do ...* Curitiba: CEFET/PR, 2003. p. 1302-1310. 1 CD-ROM

HAAG, Rafael.; OLIVEIRA, L. M.; VEIT, E. A. Coleta Automática e Interpretação de Dados em um Laboratório Didático de Termologia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15, 2003, Curitiba *Atas do...Curitiba: CEFET/PR, 2003, p.625 - 635. 1 CD-ROM.*

HAAG, R. *Ntefv*. Disponível em:< <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software>>. Acesso em: 23 jan. 2005. *Software para leitura das entradas analógicas da porta de jogos.*

HOLLMAN, G; HARRES, J. B. S.; SCHOSSLER, L.C.; BRUST, P. R.; HAETINGER, W. *Introdução à Eletrônica: Conceitos e Aplicações*. Lajeado: UNIVATES, 2001. (Texto Didático, 4)

HORNE, R. Spectrogram. Disponível em: <<http://www.monumental.com.rshorne/gram.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005. *Software para análise de espectro*

KAWAMURA, R. D; HOSOUME, Y. A contribuição da Física para um novo ensino médio. *A Física na Escola*, São Paulo, v.4, n.2, p. 22-27, nov. 2003.

LURCH, E.N. *Fundamentos de Eletrônica*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1984.

MAGNO, W. C.; ARAÚJO, A. E. P; LUCENA, M. A.; MONTARROYOS, E. Realizando experimentos didáticos com o sistema de som de um PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 1, 117-123, dez. 2004.

MENEZES, Luiz Carlos. Uma Física para o novo ensino médio. *A Física na Escola*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 6-8, nov. 2000.

MONTARROYOS, E. ; MAGNO, W. C. Aquisição de Dados com a placa de som do computador. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 57-62, março 2001.

MOREIRA, Marco Antonio. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999. 195 p.

PASCO SCIENTIFIC. [*Sítio Institucional*]. Disponível em:< <http://www.pasco.com>>. Acesso em 03 nov. 2004.

REDISH, E. F.; SAUL, J. M.;STEINBERG, R. N. On the Effectiveness of Active-Engagement Microcomputer-Based Laboratories. *American Journal Physics*, College Park, v.65, p. 45-54, Jan. 1997. Disponível em: <<http://www.physics.umd.edu/perg/papers/redish/mb1/mb11.html> >. Acesso em: 23 jan. 2005.

SABA, M. M. F.; ROSA, R. A. da S. A quantitative demonstration of de Doppler Effect. *The Phycis Teacher*, College Park, v. 39, p. 431-433, Oct. 2001.

STENSGAARD, I.; Laegsgaard, E. Listening to the coefficient of restitution-revisited. *American Journal of Physics*, College Park, v.69, n.3, p. 301- 305, Mar. 2001.

SILVA, L. F. da. *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.

SILVA, L.F. da; VEIT, E. A. *Ondas Mecânicas*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/index.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

SILVA, L.F. da; VEIT, E. A. *Tempo: Planilha Excel para leitura da entrada digital da porta de jogos*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/tempo.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

VEIT, E. A. O Laboratório Didático de Física e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15, 2003, Curitiba. *Atas do ...* Curitiba: CEFET/PR, 2003. p. 133-142. 1 CD-ROM.

VEIT, E. A. et al. *Novas Tecnologias no Ensino de Física*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/mecanica/restituicao/restituicao.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

VELDHUIJZEN, M. *Sine Wave Generator*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/sinewave.zip>>. Acesso em: 23 jan. 2005. *Software gerador de sinais*

VIGOTSKY, L. S. *Pensamento e Linguagem*. 3 ed. São Paulo: Martins Fortes, 2003. 135 p.

ZARO, M. *Laboratório de Medições Mecânicas*. Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

APÊNDICE

Neste Apêndice incluímos cinco guias de atividades para estudantes que envolvem o microcomputador. Um relato circunstanciado sobre uma experiência didática realizada com estas atividades com estudantes do ensino médio consta na dissertação de mestrado de um dos autores deste trabalho (LFS). Lembramos que um relato circunstanciado sobre uma experiência didática realizada com estas atividades com estudantes do ensino médio consta na dissertação de mestrado de Lucia Forgiarini da Silva (Silva, 2005).

A.1 Atividade: explorando sensores

Você sabe como é possível que algumas lâmpadas se acendam automaticamente quando escurece? Nesta atividade pretendemos dar oportunidade para que vocês compreendam o princípio geral de funcionamento de alguns sensores usados no dia-a-dia. Para isto utilizaremos componentes eletro-eletrônicos muito comuns em aparelhos atuais. Inicialmente vocês farão medidas manuais com alguns componentes eletrônicos, para que observem como é possível medir grandezas físicas com estes sensores. Posteriormente, as medidas serão automatizadas.

Transdutores

Denominamos de transdutores ou sensores todo dispositivo capaz de transformar variações de uma determinada grandeza física em um sinal elétrico, ou vice-versa. Podemos citar como exemplos de transdutores (ou sensores) o microfone e o alto-falante. Vocês sabiam disso? O microfone converte um sinal sonoro (grandeza física) em sinal elétrico; o alto-falante é um tipo de transdutor que converte sinal elétrico em sinal sonoro.

Os transdutores são muito úteis nas atividades de medidas, pois permitem que as medidas sejam coletadas automaticamente pelo microcomputador. Na Tabela 1 estão relacionados alguns exemplos de transdutores, bem como grandezas físicas que podem ser medidas com eles.

Vamos iniciar esta atividade nos valendo simplesmente de um instrumento muito familiar: o multímetro. Vocês irão observar, por exemplo, que ao variarmos a intensidade luminosa sobre um fotodiodo a sua resistência elétrica varia. Logo após, vamos automatizar as medidas, ou seja, as variações dos sinais elétricos serão medidas diretamente pelo microcomputador.

Experimento 1: Medidas manuais

Escolham um dos sensores apresentados na Tabela 1 para a atividade proposta. Conectem as extremidades do sensor escolhido aos terminais do multímetro e façam medidas do sinal elétrico (resistência ou corrente elétrica) produzido no sensor devido à variação de uma grandeza física.

Discutam em grupo e proponham alguma experiência que possa ser feita com o sensor escolhido, que permita investigar a grandeza física em questão.

Dica: para se fazer medidas com um diodo é necessário observar a polaridade do mesmo, o que significa dizer que haverá corrente fluindo somente em um sentido. Isto se deve ao fato de que o diodo apresenta uma resistência elétrica muito grande em um sentido, e uma resistência muito pequena no

sentido contrário. Esta característica do diodo requer que se conecte o terminal positivo (negativo) do diodo ao terminal positivo (negativo) do multímetro. Uma forma simples de observar visualmente a polaridade do diodo é observar os “terminais” do mesmo, o mais comprido corresponde ao pólo positivo e o menor ao pólo negativo.

Tentem implementar a experiência proposta. Que tipo de relação vocês observam entre os valores lidos e as variações da grandeza física em estudo? Quando um cresce o outro cresce ou diminui?

Você pode afirmar que o sensor escolhido é linear? Ou seja, que dobrando o valor da grandeza física em questão, o valor lido no multímetro é multiplicado pelo mesmo fator? Como seria possível testá-lo?

Ao trabalhar com sistemas de medidas, automatizados ou não, é preciso dispor de um instrumento calibrado. O que quer dizer isto? Como vocês imaginam que se deva proceder para que o multímetro possa servir como um instrumento para determinação da grandeza física que vocês estão discutindo?

Questões a serem exploradas no grande grupo

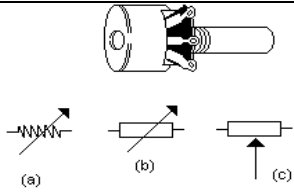
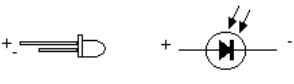
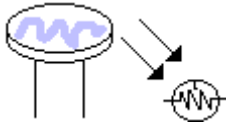
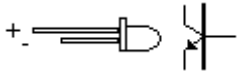

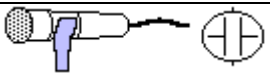
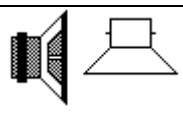
Vamos compartilhar com o grande grupo os resultados atingidos na primeira parte desta atividade, descrevendo como as medidas foram realizadas e que resultados foram obtidos.

Pensem um pouco no nosso dia-a-dia, vocês conseguem identificar alguns sensores? Em que tipo de equipamento são utilizados? Tentem explicar para os colegas como funcionam estes equipamentos.

Grandezas analógicas

Nesta atividade vocês tiveram oportunidade de observar que as grandezas físicas variam de forma contínua. Toda grandeza que varia de forma contínua é denominada grandeza analógica. Quase tudo ao nosso redor varia desta forma. Citem algumas grandezas que variam analogicamente. E alguma que não varia analogicamente?

Tabela 1 – Exemplos de transdutores que servem como sensores das grandezas físicas indicadas na primeira coluna.

Grandeza física	Transdutor	Aspecto/Símbolo
posição espacial	Potenciômetro	
intensidade luminosa	fotodiodo	
intensidade luminosa	LDR (<i>Light Dependent Resistor</i>)	
intensidade luminosa	Fototransistor	
temperatura	Termistor NTC (Negative Temperature Coefficient) e PTC (Positive Temperature Coefficient)	
Som	Microfone	
Som	alto-falante	

Experimento 2 : Medidas automáticas

Agora em vez de utilizar o multímetro para detectar o sinal elétrico produzido ao variar determinada grandeza física, iremos utilizar o microcomputador que irá ler automaticamente as variações do sinal elétrico. Para isto é necessário um *software* que leia e registre os valores do sinal elétrico na porta de entrada. (Aquilo que você fez manualmente, o microcomputador fará por você.)

O *software* utilizado é o Aqdados 2.0, que nos possibilita medir usando as entradas digitais e as entradas analógicas da porta de jogos. Este *software* é livre e encontra-se disponível para *download* no endereço:

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/Aqdados20.zip> .

Utilizando potenciômetros, diodos emissores, fotodiodos, fototransistores, termistores (NTC e PTC) e (LDR).

Procedimento experimental:

Os sensores deverão ser conectados na entrada de jogos do microcomputador. A partir das observações e medidas analógicas que fizeram, verifiquem qual das entradas é recomendável utilizar: a **analógica** ou a **digital**, e façam as conexões apropriadas.

Inicializem o *software* Aqdados 2.0 e coletem dados. Em discussão com seu grupo, procure esclarecer o que está sendo medido. Em particular, porque o *software* informa valores em unidades arbitrárias? O que precisaria ser feito para se conhecer o valor da grandeza em discussão em unidades do sistema internacional?

Compartilhem com o grande grupo as facilidades e/ou dificuldades que tiverem no desenvolvimento da atividade que lhe foi proposta.

Quando vocês diriam que é mais recomendável fazer medidas manuais? E medidas automatizadas?

A.2 Atividade: medidas de tempo

Como é possível jogarmos *videogame*?

Quando jogamos *videogame* fazemos movimentos com os botões do *joystick* para controlarmos os movimentos do jogo. Vocês já pararam para pensar de que modo os movimentos do *joystick* são interpretados pelo microcomputador? Na atividade de hoje teremos a possibilidade de observar como funcionam as entradas digitais (botões) de um *joystick*. Na atividade sobre sensores serão as entradas analógicas do *joystick* que enfatizaremos.

Sistema Decimal

Vocês já se deram conta de que a posição de cada algarismo de um número decimal pode ser representada por uma potência de 10?

Por exemplo, o número 3427 pode ser escrito como a soma das seguintes parcelas:

$$7 \times 10^0 = 7$$

$$2 \times 10^1 = 20$$

$$4 \times 10^2 = 400$$

$$3 \times 10^3 = 3000$$

$$\text{resultando em: } 7 + 20 + 400 + 3000 = 3427$$

Este é o chamado sistema numérico decimal, também denominado de sistema de base 10, por conter dez dígitos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

Sistema Binário

Já os computadores usam um sistema que só possui dois dígitos: 0 e 1. Por isto este sistema é dito binário.

Observem que com somente dois dígitos os microcomputadores são capazes de executar inúmeras tarefas, desde um jogo de *videogame* ao mapeamento do nosso universo. A informação é armazenada no que se chama de *bit*²⁹. Um bit pode estar somente em um de dois estados lógicos: 0 ou 1. Um conjunto de 8 bits forma 1 baite (em inglês: *byte*).

Vejam alguns números binários, com o valor correspondente na forma decimal.

²⁹ Em inglês dígito binário é escrito como *binary digit* estas duas palavras foram condensadas como *bit* = *bi*(nary) (dig)*it*. O dicionário Houaiss já registra a versão em português da palavra inglesa *bit* como bite, porém preferimos manter em todo o trabalho a forma bit.

Binário	Decimal
0001	$1 \times 2^0 = 1$
0010	$0 \times 2^0 + 1 \times 2^1 = 2$
0100	$0 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^2 = 4$
1000	$0 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^3 = 8$

Vamos agora fazer a transformação da base binária para a base decimal do número **11011110**, que corresponde a 1 baite (oito bits). Como vimos anteriormente, cada algarismo do número binário corresponde a uma potência de 2. Então, temos:

$$0 \times 2^0 = 0$$

$$1 \times 2^1 = 2$$

$$1 \times 2^2 = 4$$

$$1 \times 2^3 = 8$$

$$1 \times 2^4 = 16$$

$$0 \times 2^5 = 0$$

$$1 \times 2^6 = 64$$

$$1 \times 2^7 = 128$$

resultando, no sistema decimal, em: $0 + 2 + 4 + 0 + 16 + 0 + 64 + 128 = \mathbf{222}$

Utilizando a calculadora do microcomputador

Vamos agora brincar um pouco fazendo conversão de números decimais em binários e vice-versa. Mas não se assustem, utilizaremos a calculadora científica do microcomputador para facilitar a tarefa. Esta calculadora possui quatro sistemas numéricos disponíveis: binário, octal, decimal e hexadecimal.

Quantos dígitos vocês diriam que deve haver no sistema octal? Quais são os dígitos deste sistema?

E no hexadecimal? Quais são os símbolos do sistema hexadecimal?

Escrevam um número binário e, conforme exemplo dado, transformem-no em decimal. Usem agora a calculadora para conferir seus resultados.

Desafio: Escrever os números 4 e 8 no sistema binário. Somar os dois, no sistema binário, e verificar que o resultado (1100) é o mesmo que o obtido no sistema decimal.

Experimento: Medida de tempo via entrada digital da porta de jogos (ou porta de joystick)

Material necessário: diodos emissores (LED), fototransistores receptor, resistores de $330\ \Omega$, multímetro, trilho, esfera.

Procedimento Experimental:

1. Manuseio de sensores óticos do tipo diodos e fototransistores.

Observem os sensores recebidos, vocês seriam capazes de visualmente identificar qual é o diodo emissor e qual é o fototransistor?

2. Medidas manuais da resistência destes sensores em função da intensidade luminosa.

Conectando as extremidades dos sensores ao terminais do multímetro é possível medir a corrente elétrica e observar que esta depende da intensidade luminosa incidente sobre os sensores. Quando a intensidade luminosa aumenta, o que acontece com a corrente?

Invertam a polaridade dos sensores e observem se há alguma mudança na leitura do multímetro. Vocês diriam que ao montar um circuito elétrico com diodo é preciso tomar cuidado com a polaridade?

3. Medidas digitais de tempo

Primeira parte

Inicializem o arquivo do Excel intitulado planilha **tempo0**. Depois de clicar no botão iniciar, movam algum objeto, pode ser a própria mão, entre o diodo emissor e o fototransistor receptor. Observem que ficam registrados os valores 0 ou 1, em uma das colunas da planilha.

O valor 1 ocorre quando há, ou não, passagem de luz para o receptor?

O que significam os valores observados em cada uma das colunas?

Vocês são capazes de medir a velocidade da mão nestes movimentos?

Com a planilha **tempo0** vocês tiveram a oportunidade de visualizar que o microcomputador “entende e processa” os sinais elétricos que são produzidos quando o feixe

é, ou não, interrompido. Faremos agora a mesma experiência, utilizando a planilha **tempo1** (que não contém mais qualquer coluna com os valores 0 e 1, mas que já coloca um valor total para o intervalo de tempo transcorrido durante a interrupção do feixe).

Usem seus relógios e tentem cronometrar o intervalo de tempo durante o qual o feixe de luz fica interrompido. Tiveram dificuldades para cronometrar? Não lhes parece que medidas automatizadas podem algumas vezes ser muito úteis? Quando lhes parece que elas são recomendáveis?

Segunda parte

Inicializem a planilha **tempo2**. Desta feita dois são os sensores em uso.

Descubram que condições devem ser satisfeitas para ativar e desativar os medidores.

Identifiquem que intervalo de tempo está sendo medido com esta planilha.

Abandonem a esfera sempre da mesma posição do trilho. (Vocês podem utilizar uma régua e a marca existente na rampa.)

Posicionem os sensores no plano horizontal a uma distância de 30 cm um do outro e obtenham medidas para o intervalo de tempo que a esfera leva para percorrer esta distância. Obtenham várias medidas, por exemplo, dez.

Agora vocês têm dez valores para a medida deste intervalo de tempo. Qual deles deve ser usado? Que lhes parece tomar a média aritmética? Utilizem o Excel para isto.

O objetivo agora é investigar como varia a posição e velocidade da bolinha em função do tempo. Preocupem-se com o comportamento geral dos resultados, já que não é intenção determinar valores numéricos precisos. Investiguem:

- como varia a posição em função do tempo (É constante? Cresce linearmente, quadraticamente ou de que forma?)
- esbocem um gráfico qualitativo para a posição em função do tempo. Que instante de tempo está sendo tomado como zero?
- como varia o módulo da velocidade média para diferentes percursos? (É constante? Cresce ou diminui? De que forma?)

- há alguma relação entre a velocidade média e a inclinação do gráfico x versus t ?
- expliquem porque este movimento é chamado de movimento uniforme.

Vamos discutir um pouco os resultados encontrados e as conclusões dos diversos grupos.

Terceira Parte

Nesta atividade usaremos a planilha de aquisição de dados **tempo3** e os dois sensores, sendo pelo menos um deles posicionado na rampa. Obstruindo o feixe de luz, descubram que intervalo de tempo está sendo medido com esta planilha.

Com os sensores separados de uma distância fixa, faremos agora medidas do intervalo de tempo em que o feixe 1 e o feixe 2 são obstruídos. Para isso, abandonem a esfera, (sempre da mesma posição) por dez vezes.

Utilizem os recursos do Excel e façam a média destas medidas.

Como fariam para encontrar a velocidade da esfera ao passar em cada um dos sensores?

Vamos dizer que estes são os valores para a velocidade instantânea da bolinha. Mas como velocidade instantânea, se vocês fizeram um cálculo de velocidade média, pois simplesmente dividiram a distância pelo intervalo de tempo?

Como houve uma variação na velocidade da bolinha, podemos obter a sua aceleração. Quanto vale a aceleração?

Caso aumentem a inclinação da rampa, o que esperam encontrar para os valores de intervalos de tempo medidos?

Obtenham a velocidade da esfera ao passar em cada um dos dois sensores e a aceleração.

Vamos discutir um pouco os resultados encontrados e as conclusões dos diversos grupos.

A.3 Atividade: ondas mecânicas transversais

Esperamos que vocês gostem de cantar ou ouvir música. Quem canta seus males espanta, não é mesmo? Ao tocarmos qualquer instrumento musical ou mesmo quando falamos ou cantamos os sons emitidos são compostos por vibrações de diversas frequências características. Nesta atividade vocês terão oportunidade de gerarem, visualizarem e estudarem as propriedades de ondas produzidas em uma corda tensionada, como é o caso dos instrumentos de corda. Inicialmente vocês observarão e discutirão algumas simulações, após utilizaremos o microcomputador como gerador de sinais. O *software* que utilizaremos para esta atividade é o *Sine Wave Generator*.

Nesta oficina esperamos que vocês aprendam muito especialmente nas discussões com seus próprios colegas, explorando os materiais que colocamos à sua disposição. Para começar, explorem as animações, que se encontram no endereço:

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/transversais>.

Experimento: Produção de ondas estacionárias em cordas.

Montagem do equipamento

Nesta atividade o alto-falante será utilizado para gerar ondas estacionárias na corda, devendo ficar sobre a base de madeira. Ao ligarem a caixa de som, ajustem seu volume para o máximo, para que a onda gerada na corda tenha a máxima amplitude. A chave liga-desliga, que se encontra na lateral da caixa, deverá ser colocada na posição desliga³⁰.

Ajustem o fio sobre a polia de modo que o peso fique suspenso.

Procedimento experimental

Ao inicializar o *software* gerador de sinais *Sine*, ajustem o botão "level" em 255. Para variar a frequência, selecionem as teclas 4 – 40 Hz, 40 – 400 Hz ou 0,4 – 4kHz. Sempre que a frequência for alterada, é preciso pressionar o botão *Mute*. O ajuste fino é feito com as teclas + e – até que seja visualizada uma onda estacionária com um ventre (anti-nó), ou seja, o harmônico fundamental. Anotem na tabela o valor da frequência que produziu esta onda estacionária.

Gere outras ondas estacionárias e anotem o número de anti-nós e as frequências correspondentes.

Em discussão com seus colegas e professor, procurem construir uma tabela para organizar os dados coletados, de modo a determinar a velocidade da onda.

Compare o valor encontrado da velocidade das ondas produzidas no seu experimento, com a dos outros grupos. Necessariamente os valores deveriam ser os mesmos? Por que? Quais os fatores que influenciam a velocidade de propagação de uma onda em uma corda?

Vamos relacionar agora o que vocês fizeram anteriormente com os instrumentos de corda.

Para que serve a cravelha do violão?

Ao aumentar a tensão do fio, você obteve frequências maiores ou menores?

Quando fazemos vibrar cordas de mesmo comprimento, porém de densidades lineares diferentes (de diâmetros diferentes), o que você perceberá em relação à frequência produzida?

³⁰ Estas mesmas caixas são também utilizadas na experiência sobre som, quando o botão ficará na posição liga.

A.4 Atividade: ondas mecânicas longitudinais

Continuando nossa incursão da Física aplicada à Música, veremos o princípio de funcionamento dos instrumentos de sopro. Veremos que, assim como os instrumentos de corda, os sons emitidos pelos instrumentos de sopro também são uma composição de frequências características. Para que você se convença disto, faremos uso de atividades de simulação, de canos de PVC, e utilizaremos o microcomputador para gerar sinais sonoros e analisar o espectro sonoro. Como desafio propomos a construção de um instrumento musical a partir de materiais simples como canos de PVC e garrafas plásticas cheias d'água e tocar uma música com ele. Será que vocês vão topa este desafio?

Experimento 1: Sensor sonoro rudimentar

Prenda um balão esticado em uma das extremidades de um cilindro metálico, de modo a formar uma membrana. Veja a Figura 1. Fale, então, em uma das extremidades do cilindro e observe que a membrana vibra.

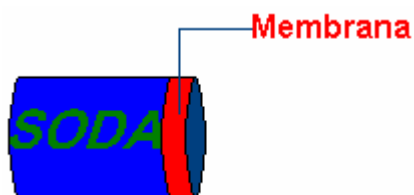


Fig.1 – Sensor sonoro

Por que a membrana presa em uma das extremidades do cilindro vibra quando falamos no lado oposto?

Quando falamos emitimos sons que são produzidos pela vibração das nossas cordas vocais. Estas vibrações provocam no ar compressões e rarefações sucessivas que se propagam no ar atingindo a membrana que também começa a vibrar.

Exploração de Simulações: Inicialmente explorem as simulações disponíveis em :

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/longitudinais>

Experimento 2 – Modos de vibração em tubos sonoros.

Procedimento experimental:

Parte 1

Escolham dois tubos de PVC e meçam o seu comprimento.

Inicializem o *software* de análise espectral *Spectrogram* e conectem o microfone ao microcomputador.

Batam com a palma da mão em uma das extremidades do tubo (o tubo desta forma se comporta como um tubo fechado em uma das extremidades), e capturem o sinal sonoro produzido com o microfone.

Resultados e discussões

Usem o *mouse* para encontrar os valores das diversas frequências observadas no espectro de cada um dos tubos.

Qual dos valores encontrados corresponde à frequência do modo fundamental (primeiro harmônico)? Encontrem as frequências dos demais modos de vibração?

Organizem os dados obtidos em uma tabela.

Qual característica do tubo (comprimento ou diâmetro) que determina o espectro obtido.

Lembrando que as frequências de ressonância (f_n) em um tubo com uma extremidade fechada estão relacionadas à velocidade de propagação da onda (v) e ao comprimento do tubo (L) por $nv/4L$, para $n= 1, 3, 5, \dots$, determine a velocidade de propagação da onda sonora no ar.

Compare seus resultados com o de seus colegas.

A velocidade do som no ar depende muito fortemente da temperatura do ambiente. Uma boa aproximação para a velocidade do som no ar, em m/s, é dada pela equação:

$$v = (330,4 + 0,59T) \text{ m/s}, \quad (1)$$

sendo T a temperatura em °C. Calculem o valor teórico previsto e comparem com o valor que vocês obtiveram.

Como poderíamos relacionar as frequências naturais (frequências de ressonância) dos diferentes tubos de PVC, observadas nesta atividade, com as frequências produzidas pelos diferentes instrumentos musicais de sopro?

A.5 Atividade: som e música

“Música é a arte e a ciência de combinar os sons de modo agradável ao ouvido humano”

Nesta atividade vamos trabalhar com microcomputadores no laboratório de Física para estudar propriedades físicas do som e um pouquinho de música. Você vai ter a oportunidade de utilizar um *software* que permite a análise do som em tempo real e observar, por exemplo, o timbre de diferentes instrumentos. Além disto, você terá a possibilidade de verificar que o microcomputador pode ser um excelente instrumento de medida em um laboratório de Física.

Experimento 1: Utilizando o *software* Sine Wave Generator para gerar sinais

Inicialmente vocês utilizarão o *software* gerador de sinais, denominado *Sine Wave Generator*, que permite a geração de sons puros com frequências entre 4 Hz e 0,4KHz. Este *software* é livre, e encontra-se disponível para *download* no endereço:

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/sinewave.zip>.

Procedimento experimental

Inicializem o *software* e escolham a faixa de frequência em que pretendem trabalhar selecionando um dos botões: 4 – 40 Hz, 40 – 400 Hz, 0,4 – 4 kHz e > 4 kHz. O ajuste fino das frequências é feito através das teclas “ + ” e “ - ”. O botão *Mute* deve ser acionado sempre que for alterado o valor da frequência.

Seguem questões a serem discutidas.

Que tipo de som vocês percebem quando as frequências são baixas?

E quando as frequências são altas?

Ao alterar a frequência do som, vocês alteraram uma das três qualidades do som. Qual delas?

Experimento 2: Utilizando o *software* Spectrogram para o estudo do som

Nesta atividade vocês terão oportunidade de ilustrar todas qualidades do som: timbre, intensidade e altura, utilizando o *software* para análise do espectro sonoro, chamado *Spectrogram*. Este *software* é livre por 10 min, podendo ser renovado a licença sempre que necessário. A página oficial deste programa é:

<http://www.visualizationsoftware.com/gram.html>.

Uma versão anterior do programa pode ser baixada de:

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/som/lab/prog/gram6.zip>.

Dicas para o uso do *software*

Após inicializar o *software Spectrogram*, cliquem em “**Function**” e escolham a opção **Scan Input**. Esta opção permite analisar o som que entra pelo microfone. Feito isso aparecerá uma tela com uma série de opções. Recomendamos no *Display Characteristics* a opção “*display*” tipo *line plot*, para que se possa observar o gráfico da intensidade sonora versus frequência. O *software* permite também que se grave o espectro obtido em um arquivo tipo *wav*, para posterior análise, desde que se clique na opção *on* do item *Recording Enable*

Primeira qualidade – Altura

Temos muitos músicos na escola. Agora todos terão oportunidade de deixar extravasar seu lado artístico e, juntamente com isto, estudar Física de forma agradável. Para isto, cada um dos participantes do grupo obterá sua impressão digital sonora ou a de um instrumento musical, cantando ou tocando algumas notas musicais. Gravem os espectros obtidos.

Comparem os espectros, observem semelhanças e/ou diferenças, e tentem explicar o que elas significam.

Como vocês classificariam as vozes dos meninos e a das meninas em relação à frequência do som. Quando os músicos falam que um som é mais alto, a que qualidade do som eles se referem?

E quando você diz que seu colega está falando muito alto, a que qualidade do som você se refere?

Segunda qualidade do som: Intensidade

Falem ou cantem alguma coisa com maior e menor volume de voz. Vocês conseguem observar semelhanças e/ou diferenças nos correspondentes espectros sonoros.

Utilizem agora um violão, ou outro instrumento de corda, soltem a corda (mesma nota) de diferentes posições fazendo-a vibrar fraca e fortemente. Observem os espectros obtidos e os compare.

Qual a qualidade do som que foi alterada neste caso?

Terceira qualidade do som: Timbre

Façam vibrar o diapasão e com o *mouse* meçam a frequência deste som. Este valor de frequência corresponde a qual nota musical?

Toquem no violão a nota Lá, observem e comparem o espectro produzido pelo violão com o obtido pelo diapasão.

Toquem a mesma nota Lá em outro instrumento (flauta, gaita de boca, ...). Apontem semelhanças e/ou diferenças deste espectro com os obtidos anteriormente.

Como vocês explicariam a diferença dos espectros sonoros do diapasão e do violão (ou outro instrumento qualquer)?

Todos sabemos diferenciar uma mesma melodia tocada em diferentes instrumentos, embora o espectro sonoro visualizado passa apresentar diferenças significativas. Como denominamos a qualidade do som relacionada a esta característica?

Vamos agora registrar espectros sonoros de notas musicais iguais em diferentes instrumentos. Discutam e tentem explicar porque ao ouvirmos determinado som podemos identificar o instrumento que o produz.

Textos de Apoio ao Professor de Física

n° 1: Um Programa de Atividades sobre Tópicos de Física para a 8ª Série do 1º Grau.
Axt., R., Steffani, M.H. e Guimarães, V. H., 1990.

n° 2: Radioatividade.
Brückmann, M.E. e Fries, S.G., 1991.

n° 3: Mapas Conceituais no Ensino de Física
Moreira, M.A, 1992.

n° 4: Um Laboratório de Física para Ensino Médio
Axt, R e Brückmann, M.E., 1993.

n° 5: Física para Secundaristas – Fenômenos Mecânicos e Térmicos.
Axt, R. e Alves, V.M., 1994.

n° 6: Física para Secundaristas – Eletromagnetismo e Óptica.
Axt, R e Alves, V.M., 1995.

n° 7: Diagramas V no Ensino de Física.
Moreira, M.A, 1996.

n° 8: Supercondutividade – Uma proposta de inserção no Ensino Médio.
Ostermann, F., Ferreira, L.M. e Cavalcanti, C.H., 1997.

n° 9: Energia, entropia e irreversibilidade.
Moreira, M.A. 1998.

n°10: Teorias construtivistas.
Moreira, M.A, e Ostermann, F., 1999.

n°11: Teoria da relatividade especial.
Ricci, T.F., 2000.

n°12: Partículas elementares e interações fundamentais.

Ostermann, F., 2001.

n°13: Introdução à Mecânica Quântica. Notas de curso.

Greca, I.M. e Herscovitz. V. E., 2002.

n°14: Uma introdução conceitual à Mecânica Quântica para professores do ensino médio.

Ricci, T. F. e Ostermann, F., 2003.

n°15: O quarto estado da matéria.

Ziebell, L. F. 2004.

v. 16 n.1: Atividades experimentais de Física para crianças de 7 a 10 anos de idade.

Schroeder, C. 2005.

v. 16 n. 2: O microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático de Física.

Silva, L. F. da e Veit, E. A., 2005

