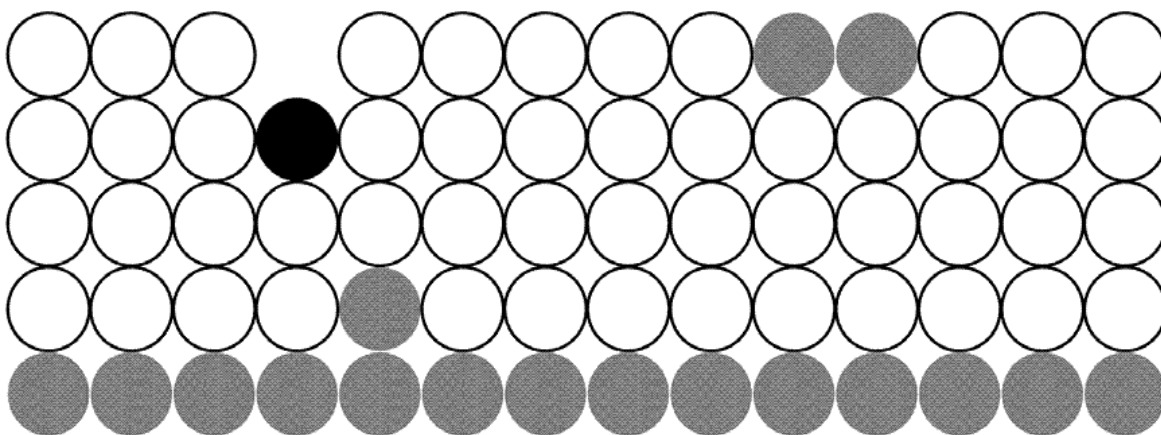


TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

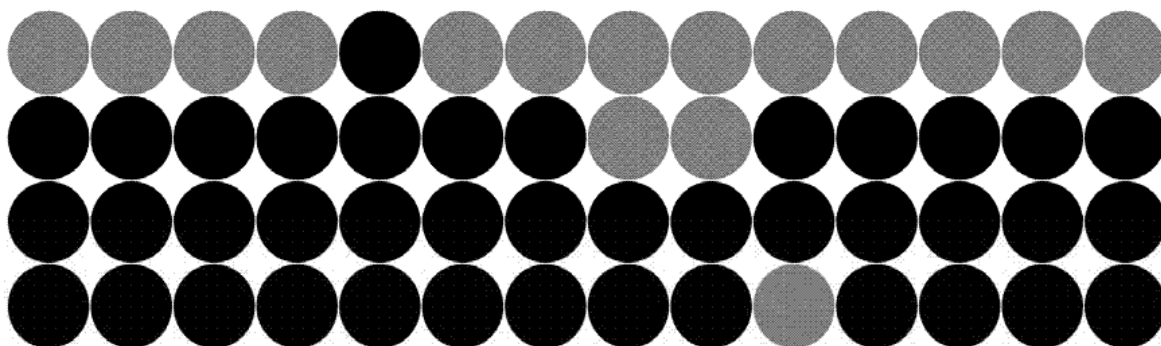
v.19 n. 2 2008

ISSN 1807-2763



Uma introdução ao processo da medição no ensino médio

César Augusto Steffens
Eliane Angela Veit
Fernando Lang da Silveira



Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Textos de Apoio ao Professor de Física, v.19 n. 2, 2008.
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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Professora Ruth de Souza Schneider
Instituto de Física/UFRGS

S586i Steffens, César Augusto
Uma introdução ao processo da medição no ensino médio /
César Augusto Steffens, Eliane Angela Veit, Fernando Lang da
Silveira. – Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2008.
86 p. : il. (Textos de apoio ao professor de física / Marco
Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v. 19 , n.
2)
Produto do trabalho de conclusão do Curso de Mestrado
Profissional, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
1. Ensino da Física 2. Ensino Médio 3. Grandezas físicas 4.
Aquisição automática de dados 5. Funções de ajuste I. Veit,
Eliane Angela II. Silveira, Fernando Lang da III. Título IV Série.

PACS: 01.40.ek

Impressão: Waldomiro da Silva Olivo

Intercalação: João Batista C. da Silva

APRESENTAÇÃO

Caros colegas professores:

Neste trabalho reproduzimos o texto que foi elaborado para servir de suporte teórico e de complementação para professores de Ensino Médio, sobre o tema do processo da medição em Física. Ele é constituído por um conjunto de textos instrucionais envolvendo a medição em Física, conceituando e descrevendo o processo da **medição de grandezas físicas** (grandezas físicas escalares e vetoriais, fundamentais e derivadas, a medição como processo, unidades de medida, medidas diretas e indiretas, Algarismos significativos, notação científica e ordem de grandeza e a grandeza física pressão), a **aquisição automática de dados usando a placa de som de um microcomputador** (circuitos simples, transdutores e sensores, softwares de aquisição, manipulação e análise de dados) e **noções sobre o ajuste de funções a conjuntos de dados experimentais**, visando complementar a formação de professores de Física de Ensino Médio. Este material instrucional foi pesquisado, redigido e aplicado por César Augusto Steffens, com a parceria e a orientação dos professores Eliane Angela Veit e Fernando Lang da Silveira, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O relato circunstanciado da utilização destes textos pelo professor e de um conjunto de guias de atividades para alunos de nível médio, incluindo as suas respostas às questões e desafios propostas nestes guias, em condições de sala de aula no Colégio de Aplicação da UFRGS, no segundo semestre de 2007 e no primeiro semestre de 2008, constam da dissertação de mestrado de César Augusto Steffens.

Porto Alegre, novembro de 2008.

César Augusto Steffens

cesar@cap.ufrgs.br

Eliane Angela Veit

eav@if.ufrgs.br

Fernando Lang da Silveira

lang@if.ufrgs.br

ÍNDICE

1 – Introdução.....	7
2 – Medição, grandezas e medidas físicas.....	9
2.1 Introdução.....	9
2.2 Grandezas físicas escalares e vetoriais.....	9
2.3 Grandezas físicas fundamentais e derivadas.....	10
2.4 Medidas físicas.....	10
2.5 Medição, medida, unidade e padrão.....	10
2.6 Definição das unidades de medida fundamentais.....	11
2.7 Medição direta ou indireta de uma grandeza física.....	11
3 – Notação científica e múltiplos de unidades.....	15
3.1 Introdução.....	15
3.2 Notação científica.....	15
3.3 Ordem de grandeza.....	15
3.4 Prefixos gregos e latinos.....	16
3.5 Espectros de medidas de distância e de intervalos de tempo.....	16
4 – Algarismos significativos e operações.....	21
4.1 O que são os algarismos significativos?.....	21
4.2 Quais são os algarismos significativos de uma medida?.....	21
4.3 Operações com algarismos significativos.....	22
5 – Noções sobre a teoria dos erros.....	25
5.1 Introdução.....	25
5.2 Erros de medida.....	25
5.3 Estimativa do valor verdadeiro de uma grandeza.....	25
5.4 Desvio absoluto e relativo de uma medida.....	27
6 – Pressão.....	29
6.1 Conceito e definição de pressão.....	29
6.2 A pressão nos líquidos.....	30
6.3 A pressão atmosférica.....	31
6.4 A variação da pressão atmosférica.....	33
7 – Aquisição automática de dados usando uma placa de som.....	35
7.1 Introdução.....	35
7.2 Sensores e transdutores.....	35
7.3 A placa de som de um microcomputador e conexões.....	42
7.4 Coleta de dados.....	46
7.5 Importação de Dados.....	47

8 – Relações entre grandezas físicas de um mesmo fenômeno.....	49
8.1 Introdução.....	49
8.2 Relações entre duas grandezas físicas.....	49
8.3 Relações diretamente proporcionais.....	49
8.4 Relações inversamente proporcionais.....	52
8.5 Grandezas físicas independentes.....	55
9 – Noções sobre o método de ajuste de funções.....	57
9.1 Introdução.....	57
9.2 Ajuste linear através do Método dos Mínimos Quadrados.....	57
9.3 Uma representação geométrica para o Método dos Mínimos Quadrados.....	61
9.4 Usando o Excel para ajustar os parâmetros de uma função escolhida.....	62
9.5 A escolha de uma curva de ajuste aos dados.....	64
9.6 Exemplos de validação da escolha de uma curva de ajuste para um conjunto de dados...	66
10 – Comentários finais e conclusões.....	73
Referências.....	75
Anexo.....	77
Textos de Apoio ao Professor de Física.....	85

1 - Introdução

Para este **texto de apoio ao professor de Física** redigimos um conjunto de textos instrucionais, envolvendo o processo da medição de grandezas em Física, a aquisição automática de dados usando a placa de som de um microcomputador e noções sobre o ajuste de funções a conjuntos de dados experimentais.

Os referenciais teóricos para o desenvolvimento deste trabalho são a teoria sócio-interacionista de Vygotsky, na qual o desenvolvimento cognitivo de um indivíduo necessita ter como referência o seu contexto social, histórico e cultural, seus signos e instrumentos, tendo a sua origem nos *processos sociais* e, a teoria epistemológica de Larry Laudan, na qual a ciência só progride quando as novas teorias resolvem mais problemas do que as teorias que as precederam.

Iniciamos este texto de apoio apresentando os conceitos fundamentais sobre a medição, envolvendo os assuntos grandezas, grandezas físicas escalares e vetoriais, fundamentais e derivadas, a medição como processo, unidades de medida, medidas diretas e indiretas (seção 2). Também apresentamos algumas noções sobre notação científica e ordem de grandeza (seção 3), Algarismos significativos (seção 4), a fim de dar condições para o desenvolvimento de atividades posteriores mais elaboradas, como identificação da relação entre duas grandezas físicas. Depois, trabalhamos a média entre medidas de um mesmo evento, os erros (ou incertezas) mais comuns e os desvios que ocorrem (seção 5).

Introduzimos uma abordagem geral sobre a grandeza física pressão, objetivando a compreensão do seu comportamento nos líquidos e na atmosfera, e relacionando as principais unidades utilizadas, para fundamentar a abordagem da pressão sanguínea (arterial) humana, que não costuma ser abordada nos textos de física das publicações de Ensino Médio (seção 6).

Acrescentamos uma breve abordagem sobre o funcionamento, uso e aplicações dos transdutores e sensores elétricos, para podermos desenvolver com os alunos de Ensino Médio exemplos de aquisição automática de dados (seção 7). Também apresentamos um estudo breve de gráficos e de relações entre grandezas físicas em um mesmo evento (seção 8).

Como complementação, acrescentamos o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e o uso de planilha Excel (seção 9) para o ajuste de funções aos conjuntos de dados obtidos experimentalmente.

Comentários e conclusões finais são apresentados na seção 10, enquanto o Anexo inclui o texto integral de um artigo sobre a epistemologia moderna, do professor Doutor Fernando Lang da Silveira.

2 – Medição, grandezas e medidas físicas

2.1 Introdução

A palavra **física** tem origem grega (*physike*) e significa ciência da natureza. A Física é uma das ciências que estuda a natureza e suas propriedades. Todo o fato ou transformação que ocorre com os corpos na natureza é chamado de **fenômeno**. Normalmente os fenômenos que ocorrem com a matéria inanimada, que não alteram a natureza dos corpos, são chamados de **fenômenos físicos** e são estudados principalmente pela Física. O estudo dos fenômenos físicos pode ser **qualitativo** ou **quantitativo**. O estudo quantitativo, além de descrever os fenômenos físicos, como no qualitativo, realiza mensurações nos fenômenos estudados, isto é, associa números às propriedades dos fenômenos.

2.2 Grandezas físicas escalares e vetoriais

A palavra **grandezas**, do latim *grandis*, refere-se a tudo aquilo que é suscetível de avaliação. No caso em que esta avaliação pode ser realizada com instrumentos e expressa em padrões previamente definidos e aceitos pela comunidade científica, denominamos de grandezas físicas.

As grandezas físicas, quanto à sua natureza, podem ser classificadas em duas espécies: as escalares e as vetoriais.

a) As **grandezas físicas escalares** são grandezas que ficam completamente determinadas quando delas se conhecem a **intensidade**, ou seja, o **valor numérico** e a correspondente **unidade de medida**. São exemplos de grandezas físicas escalares:

- a massa de uma pessoa: 90 kg.
- a idade de uma pessoa: 54 anos.
- a altura de uma pessoa: 1,85 m.
- a temperatura de uma pessoa: 36 °C.

b) As **grandezas físicas vetoriais** são grandezas que só ficam completamente determinadas quando delas se conhecem, além do **valor numérico** e correspondente **unidade de medida (intensidade)**, a sua **direção** e **sentido** de atuação (**orientação**). A direção de uma grandeza física corresponde a um segmento de reta, e o seu sentido, é representado por uma seta. São representadas matematicamente por **vetores**. São exemplos de grandezas físicas vetoriais:

- o deslocamento de um carro: 30 km, Norte/Sul para o Norte.
- velocidade de um balão: 3,0 m/s, vertical e para cima.
- peso de uma pessoa na Terra: 600 N, vertical e para baixo.

2.3 Grandezas físicas fundamentais e derivadas

Quando se forma um sistema de unidades físicas, escolhe-se certo número de **grandezas e unidades** como **fundamentais** e as demais grandezas e unidades são deduzidas a partir destas e denominadas **grandezas e unidades derivadas**.

Atualmente, são sete as grandezas fundamentais que permitem exprimir qualquer das grandezas físicas dos vários ramos da Física, a saber: **comprimento (m)**, **massa (kg)**, **tempo (s)**, **intensidade da corrente elétrica (A)**, **temperatura termodinâmica (K)**, **intensidade luminosa (cd)** e **quantidade de matéria (mol)**.

As grandezas físicas derivadas são expressas através da relação estabelecida entre uma ou mais grandezas físicas fundamentais. Algumas, a saber: **volume (m³)**, **velocidade (m/s)**, **aceleração (m/s²)**, **força (N)**, **energia (J)** e **pressão (Pa)**.

2.4 Medidas físicas

A **medição**, operação pela qual associamos números às propriedades físicas dos corpos e da natureza é de importância fundamental para diversas ciências, ditas exatas, como a Física, a Matemática e a Química.

Enquanto nos limitamos apenas a observar os fenômenos físicos, sem associar números às nossas observações, estamos estudando os fenômenos apenas qualitativamente; no momento em que caracterizamos nossas observações por resultados numéricos, estaremos fazendo o estudo quantitativo. (PAULI, 1979, p. 46).

Há até uma famosa frase atribuída ao Lorde Kelvin, cientista inglês do século XIX sobre o assunto:

“Se você pode medir aquilo do que fala e exprimi-lo por um número, é porque conhece alguma coisa do assunto. Em caso contrário o seu conhecimento é precário. Lorde Kelvin” (PAULI, 1978, p. 4).

2.5 Medição, medida, unidade e padrão

Medir uma grandeza física é determinar, por comparação, quantas vezes ela contém outro intervalo daquela **mesma espécie de grandeza**, arbitrariamente escolhido como sendo **unitário**. Este **intervalo unitário** é chamado de **unidade**.

A **medição** é o ato de medir. A **medida**¹ é o resultado obtido de uma medição. A **medida** deve ser expressa através de **um valor numérico**, que representa quantas vezes a grandeza física contém a unidade usada na medição, e um **símbolo**, que representa a unidade da grandeza utilizada.

A representação material ou não de um corpo ou ente físico da unidade arbitrada é chamada de **padrão**.

¹ É até aceitável e corrente usar-se a expressão **medida** para o ato de medir, mas preferimos reservar esta palavra para o **resultado de uma medição**.

Um exemplo

Vamos supor que se queira determinar o **comprimento da mesa da sala de aula**, utilizando uma caneta esferográfica, cujo comprimento será tomado como referência de comparação. Se encontrarmos, para o comprimento da mesa, cinco comprimentos da caneta (5 ct), teremos a situação ilustrada na Figura 1.

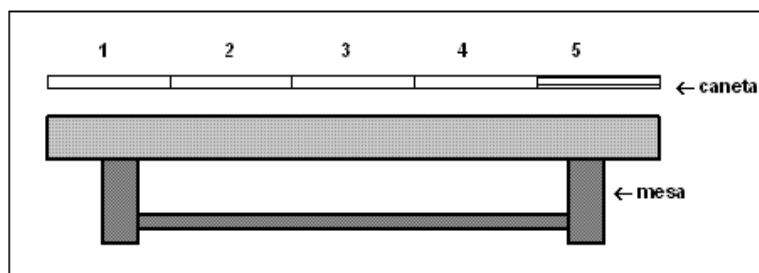


Figura 1: Medição do comprimento da mesa da sala de aula.

Neste caso, o **padrão** de medida é a caneta, ou seja, corpo ou ente físico que contém ou porta a unidade arbitrada; a **unidade de medida** é o comprimento da caneta, representada por ct, e a medida do comprimento da mesa é 5 ct.

Note que a **grandeza medida**, o comprimento da mesa, e a **unidade de medida** utilizada devem ser grandezas físicas de mesma espécie, neste exemplo, comprimento.

2.6 Definição das unidades de medida fundamentais

Os cientistas e técnicos procuram definir unidades e padrões de medida que possam ser obtidos e utilizados de maneira segura, sem variações ou deformações em todo o universo, ditas **universais**, através do **Sistema Internacional de Unidades (S.I.)**, regulamentados em Conferências Gerais de Pesos e Medidas (INMETRO, 2007). Veja as definições de algumas destas unidades na **Tabela 1**.

2.7 Medição direta ou indireta de uma grandeza física

Para **medir diretamente** uma grandeza física deveremos compará-la diretamente com outra grandeza de mesma espécie, utilizada como unidade de medida. O resultado desta comparação é um número que indicará o número de vezes que a unidade adotada está contida (múltiplo) ou contém (submúltiplo) na grandeza física medida. São exemplos de medições diretas:

- a determinação da massa de uma pessoa numa balança com capacidade 150 kg;
- a determinação da altura de um livro com uma régua de 50 cm;
- a determinação do tempo de oscilação de um pêndulo com um cronômetro;
- a determinação do volume de um tonel utilizando um frasco com volume de 1 litro.

Tabela 1: Unidades de medida fundamentais e definição do padrão adotado no S.I.

Unidade de medida	Símbolo	Grandeza física	Definição
metro	m	Comprimento	Comprimento igual a 1.650.763,63 comprimentos de onda, no vácuo, da radiação correspondente à transição entre os níveis $2p_{10}$ e $5d_5$ do átomo de criptônio 86.
segundo	s	Tempo	Duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de Césio 133.
quilograma	kg	Massa	Igual à massa do protótipo internacional, um cilindro de platina iridiada, sancionada pela Conferência Geral de Pesos e Medidas em Paris, em 1189, e depositada no pavilhão de Breteuil, em Sèvres.
ampère	A	Intensidade da corrente elétrica	Corrente elétrica invariável que, mantida em dois condutores retilíneos, paralelos, de comprimento infinito e de área de seção transversal desprezível e situados no vácuo a 1 metro de distância um do outro, produz entre esses condutores uma força de intensidade $2 \cdot 10^{-7}$ newton, por metro de comprimento desses condutores.
kelvin	K	Temperatura	Fração $1 / 273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto tríplice da água.
candela	cd	Intensidade luminosa	Quantidade equivalente à intensidade luminosa, numa determinada direção, de uma abertura perpendicular a essa direção, com uma área de $1/60 \text{ cm}^2$ irradiando com um radiador perfeito à temperatura de solidificação da platina.
mol	mol	Quantidade de matéria	Quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quanto são os átomos contidos em 0,012 quilogramas de carbono 12.

Quando se torna difícil ou impraticável a determinação direta, por comparação, da medida de uma grandeza física, lançamos mão de um processo indireto, a **medição indireta**. Isto normalmente

acontece ou quando não possuímos uma unidade adequada para a comparação da grandeza, ou por deficiência de precisão do instrumento de medida utilizado. Logo, a **medição indireta** de uma grandeza física costuma ser composta por um conjunto de uma ou mais medições diretas de grandezas de mesma espécie ou grandezas relacionadas, acrescidas de operações matemáticas, suportadas por teorias que relacionam as diversas grandezas com aquela a ser medida, que conduzem à medida procurada. São exemplos de medidas indiretas:

- a determinação da espessura média de uma folha de caderno, através da medição da espessura de um grande número de folhas deste;
- determinação da altura de um poste através da medição do comprimento de sua sombra e do ângulo de inclinação da luz solar;
- a determinação do volume de uma gota de água, através da determinação do volume de um grande número de gotas de água;
- a determinação da velocidade de propagação do som no ar, através da determinação da distância percorrida pelo som no ar e do intervalo de tempo envolvido em percorrê-la, e, posterior divisão destas grandezas.

3 – Notação científica e múltiplos de unidades

3.1 Introdução

Devido aos largos espectros de medidas apresentados pelas diversas grandezas físicas, como comprimento, tempo, massa, temperatura, etc., definidas no Sistema Internacional de Unidades (S.I.), costuma-se expressá-las de uma maneira mais “condensada e unificada”, através de potências de dez, chamada de Notação Científica, e também através de múltiplos e submúltiplos destas unidades de medida. A princípio pode nos parecer mais complicado, mas a prática mostra que facilita muito a expressão e manipulação destas medidas, sem a utilização de tantas casas decimais.

3.2 Notação científica

Para simplificarmos a expressão de medidas, podemos escrevê-las usando potências de 10, ou seja, através da chamada **notação científica**, definida conforme o quadro que segue.

Notação científica

O módulo de qualquer número N pode ser expresso pelo produto de um número real (x), entre um e dez, por uma potência inteira de dez (y), isto é:

$$N = x \cdot 10^y \quad \therefore 1 \leq x < 10$$

Exemplos: - Distância média Terra-Sol $\rightarrow d = 150.000.000.000 \text{ m} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$
- Tempo aproximado de passagem da luz por uma vidraça $\rightarrow t = 0,000.000.000.017 \text{ s} = 1,7 \cdot 10^{-11} \text{ s}$

3.3 Ordem de grandeza

A **magnitude** de uma medida pode ser estimada através da notação científica que expressa esta medida, chamada da **ordem de grandeza**, estando relacionada à potência de dez utilizada na expressão desta medida, definida como:

Ordem de grandeza

A ordem de grandeza (g) de uma medida deve ser expressa por uma potência inteira de dez, mais próxima da medida escolhida.

ATENÇÃO!²

Para determinar a ordem de grandeza (**g**) de uma medida (**M**), expressa em notação científica na forma $M = x \cdot 10^y$ deveremos seguir as regras de arredondamento apresentadas resumidamente abaixo:

- Arredonda-se para mais uma unidade a potência inteira de dez (**y + 1**), quando a parte significativa (**x**) da medida escolhida for igual ou superior a 3,16 (raiz quadrada de 10).

Exemplos: - Raio médio da Terra $\rightarrow d = 6300000 \text{ m} = 6,3 \cdot 10^6 \text{ m} \rightarrow g = 10^7 \text{ m}$
 - Massa de um menino $\rightarrow d = 45 \text{ kg} = 4,5 \cdot 10^1 \text{ kg} \rightarrow g = 10^2 \text{ kg}$
 - Espessura de uma vidraça $\rightarrow d = 0,0040 \text{ m} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \rightarrow g = 10^{-2} \text{ m}$

- Mantém-se invariável a potência inteira de dez (**y**), quando a parte significativa (**x**) da medida escolhida for inferior a 3,16 (raiz quadrada de 10).

Exemplos: - Distância média Terra-Sol $\rightarrow d = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m} \rightarrow g = 10^{11} \text{ m}$
 - Velocidade da luz no vácuo $\rightarrow d = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \rightarrow g = 10^8 \text{ m/s}$

Obs.: A referência ao limitante 3,16 se deve ao fato que o ponto médio entre o intervalo de duas potências de dez consecutivas, por exemplo, 10^0 e 10^{+1} é $10^{0,5}$, que é a raiz quadrada de 10, sendo aproximadamente 3,16. Pode-se determinar o expoente da potência de 10 calculando o logaritmo, na base 10, da medida escolhida e arredondá-la pelas regras normais de arredondamento de números. Veja a subseção 4.3.

3.4 Prefixos gregos e latinos

A colocação de um prefixo grego ou latino, definido pelo Sistema Internacional de unidades (S. I.), substitui a potência de dez (ordem de grandeza) da medida expressa. Apresentamos, na Tabela 2, o símbolos, o nome, o valor e o fator multiplicador dos prefixos latinos, utilizados no S. I. em diversas áreas científicas e tecnológicas do mundo atual.

3.5 Espectros de medidas de distâncias e de intervalos de tempo

Para justificar a necessidade do uso de ordem de grandeza, notação científica e de unidades de medida adequadas às medidas das grandezas físicas selecionadas para medição, pesquisamos em diversos livros existentes no mercado e compilamos algumas grandezas significativas para

² Extraído e adaptado de FÍSICA BÁSICA "A" (2008).

compor alguns espectros de medidas, que são apresentadas na Tabela 3 e na Tabela 4. A Tabela 3 apresenta diversos intervalos de tempo, enquanto que a Tabela 4 apresenta diversas distâncias ou comprimentos, sempre acompanhados da unidade de medida mais adequada e de sua ordem de grandeza.

Tabela 2: Prefixos gregos e latinos definidos pelo Sistema Internacional de unidades.

Símbolo	Nome	Valor	Fator multiplicador
E	Exa	10^{18}	1.000.000.000.000.000.000
P	Peta	10^{15}	1.000.000.000.000.000
T	Tera	10^{12}	1.000.000.000.000
G	Giga	10^9	1.000.000.000
M	Mega	10^6	1.000.000
k	Quilo	10^3	1.000
h	Hecto	10^2	100
da	Deca	10^1	10
d	Deci	10^{-1}	0,1
c	Centi	10^{-2}	0,01
m	Mili	10^{-3}	0,001
μ	Micro	10^{-6}	0,000.001
n	Nano	10^{-9}	0,000.000.001
p	Pico	10^{-12}	0,000.000.000.001
f	Femto	10^{-15}	0,000.000.000.000.001
a	Atto	10^{-18}	0,000.000.000.000.000.001

Tabela 3: Espectro de medidas de intervalos de tempo.
(Extraído com adaptações de PSSC (1963))

Intervalo de tempo selecionado	Unidade de medida mais adequada	Ordem de grandeza
Passagem da luz por uma vidraça (3 mm).	10 picossegundos	10^{-11} s
Passagem da luz pelo ar desta sala.	30 nanossegundos	10^{-8} s
Explosão de um petardo (artefato bélico).	10 microssegundos	10^{-5} s
Batida de asas de uma mosca.	1 milissegundo	10^{-3} s
Uma vibração completa do som mais baixo (grave) audível.	17 milissegundos	10^{-2} s
Queda livre de uma esfera de aço de uma altura de 0,1 m.	0,14 segundos	10^{-1} s
Batida média do coração humano.	0,75 segundos	10^0 s
Recorde mundial dos 100 m masculino (“100 m rasos”)(08/2008).	9,69 s	10^1 s
Rotação da Terra ao redor do seu eixo.	1 dia	10^5 s
Translação da Lua ao redor da Terra.	1 mês	10^6 s
Translação da Terra ao redor do Sol (ano terrestre).	1 ano	10^7 s
Descoberta oficial das Américas.	5 séculos	10^{10} s
Aparecimento do homem na Terra.	320 milênios	10^{13} s
Desaparecimento dos dinossauros da Terra.	300 milhões de anos	10^{16} s
Existência do Sol como uma estrela.	30 trilhões de anos	10^{21} s

Tabela 4: Espectro de medidas de comprimento.
(Extraído com adaptações de PSSC (1963))

Grandeza física e objeto selecionados	Unidade de medida mais adequada	Ordem de grandeza
Dimensões previstas para um quark.	0,1 femtômetros	$\sim 10^{-16}$ m
Diâmetro aproximado do núcleo de hidrogênio.	1 femtômetro	$\sim 10^{-15}$ m
Diâmetro aproximado do núcleo do átomo de carbono 12.	10 femtômetros	$\sim 10^{-14}$ m.
Raio de um glóbulo vermelho do sangue humano.	< 7 micrometros	$\sim 10^{-6}$ m.
Espessura de uma folha de papel.	0,1 milímetros	10^{-4} m.
Raio de uma bolinha de pingue-pongue.	2,0 centímetros	10^{-2} m.
Raio de uma bola de futebol oficial.	11 centímetros	10^{-1} m.
Altura média de um jovem brasileiro adulto masculino.	1,75 m	10^0 m
Altura média de um edifício com cinco andares.	16 metros	10^1 m.
Raio maior do Estádio Gigante da Beira Rio (Porto Alegre).	140 metros	10^2 m
Raio da Lua (satélite natural da Terra).	1,7 megômetros	10^6 m.
Raio da Terra (nosso planeta natal).	6,4 megômetros	10^7 m.
Raio do Sol (a estrela mais próxima da terra).	700 megômetros	10^9 m.
Raio da órbita de Terra ao redor do Sol.	150 gigômetros	10^{11} m.
Distância percorrida pela luz em um ano.	1 ano-luz	10^{16} m.
Distância à estrela mais próxima da Terra (α de Centauro).	4,6 anos-luz	10^{17} m.
Comprimento da via Láctea (nossa galáxia).	100 mil anos-luz	$\sim 10^{21}$ m.

4 – Algarismos significativos e operações

4.1 O que são os algarismos significativos?

Vamos supor que estejamos realizando uma medição qualquer, como por exemplo, a determinação do comprimento de uma barra metálica, utilizando uma régua graduada (com precisão) em centímetros, isto é, a menor divisão da régua é de 1 cm, conforme mostra a Figura 2.

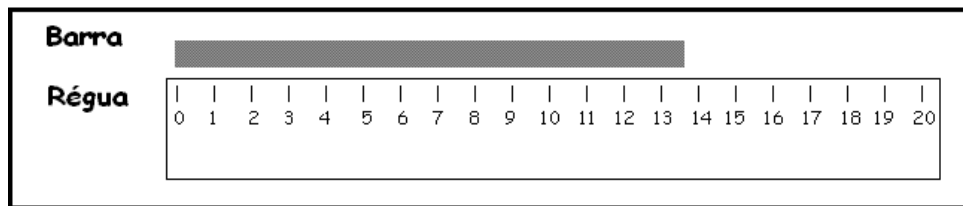


Figura 2: Medição do comprimento de uma barra metálica.

Ao tentarmos expressar o resultado desta medição, isto é, a medida, percebemos que ela deve estar compreendida entre 13 cm e 14 cm. Como a menor divisão da escala da régua é de 1 cm (precisão), fica difícil ou impossível a determinação exata do número de milímetros que excedem a 13 cm no comprimento da barra. Podemos, no entanto, realizar uma estimativa afirmando que o comprimento da barra é de, aproximadamente, 13,6 cm. Convém notar que não teria sentido algum tentar obter mais um algarismo (milésimo de milímetro) para esta medida, pois já não temos certeza alguma deste 6 (décimos de milímetro) que foi estimado (avaliado). Nesta medida, o primeiro e o segundo algarismos (o 1 e o 3) são os **algarismos corretos** da medida e o terceiro (o 6) é o avaliado, chamado **duvidoso**. O conjunto desses algarismos, os corretos mais o duvidoso, são os **algarismos significativos** desta medida.

ATENÇÃO!

Os algarismos significativos de uma medida são todos os algarismos corretos (exatos) desta medida juntamente com o primeiro algarismo duvidoso (avaliado).

4.2 Quais são os algarismos significativos de uma medida?

Nem todos os algarismos que compõem uma medida são significativos, como veremos a seguir. Por isso, convém notar e ressaltar o que segue.

(1^o) O algarismo duvidoso que aparece na indicação do resultado de uma medição é também, como já foi dito, significativo.

Ex.: 26,3 cm → medida com três algarismos significativos;
→ dois algarismos exatos (o 2 e o 6) e o duvidoso (o 3).

(2°) Os zeros entre dois algarismos significativos são significativos.

Ex.: 190,07 kg → medida com cinco algarismos significativos.

(3°) Os zeros à esquerda de um algarismo significativo não são significativos.

Ex.: 0,017 s → medida com dois algarismos significativos (o 1 e o 7).

(4°) Os zeros à direita de um algarismo significativo são significativos.

Ex.: 340,0 cm → medida com quatro algarismos significativos.

4.3 Operações com algarismos significativos

Nas operações matemáticas (adição, subtração, multiplicação e divisão) envolvendo algarismos significativos, convém saber o que segue.

(1°) Na **adição** e na **subtração** de **algarismos significativos**, o resultado deve conter o mesmo número de casas decimais que a parcela com o menor número de casas decimais (parcela mais “pobre”). Para isto, procede-se a adição ou subtração das parcelas, arredondando-se o resultado para conter o mesmo número de decimais que a parcela mais “pobre” de casas decimais.

Exemplos:

Adição		Subtração		Resultado
328,31		32,267		
2,265		- 15,1		
13,7	← <i>parcela mais “pobre”</i> →	17,167	→	17,2
+ 0,158				
344,433	→			
Resultado				
				Resultado
				344,4

ATENÇÃO!³

Para realizar os arredondamentos na adição e na subtração de algarismos significativos devemos seguir as regras de arredondamento apresentadas resumidamente abaixo:

- *arredonda-se para mais uma unidade o último algarismo mantido, quando o primeiro desprezado for superior a 5.*

Ex.: 12,76 cm → 12,8 cm

- *mantém-se invariável o último algarismo mantido, quando o primeiro algarismo desprezado for inferior a 5.*

Ex.: 12,74 cm → 12,7 cm

- *arredonda-se, ou não, para mais uma unidade o último algarismo, quando o primeiro desprezado for exatamente igual a 5.*

Ex.: 12,75 cm → 12,7 cm ou 12,8 cm

³ Extraído e adaptado de WIKIPÉDIA (2008a).

(2°) na **multiplicação** e na **divisão** de **algarismos significativos**, o resultado da multiplicação (o produto) ou o resultado da divisão (o quociente) não pode conter um número maior de algarismos significativos do que a parcela que tiver o **menor** número de algarismos significativos.

Exemplos:

Multiplicação		Divisão	
28,3		32,265	
<u>x 1,582</u>	Resultado	<u>÷ 15,1</u>	Resultado
44,7706	→ 44,8	2,1367549...	→ 2,14

Obs.: Nos dois exemplos apresentados, o menor número de algarismos significativos das parcelas é igual a 3, logo, respectivamente o produto ou o quociente das expressões devem conter também três algarismos significativos.

(3°) Na **multiplicação** e na **divisão** por um **número exato**, o resultado deverá conter tantos algarismos significativos quanto a medida envolvida.

Exemplos:

Multiplicação		Divisão	
28,31	→ 28,31	32,2	→ 32,2
<u>x 180</u>	→ <u>x 180</u>	<u>÷ 6</u>	→ <u>÷ 6</u>
5095,8	→ 5096	5,36666...	→ 5,37

ATENÇÃO!

A estimativa do algarismo duvidoso de uma medida nem sempre é possível. Em balanças digitais, em termômetros digitais, em cronômetros digitais e em outros instrumentos digitais, o que podemos fazer é obter a precisão da medida indicada no visor do instrumento, consultando o manual do fabricante do instrumento de medida.

5 – Noções sobre a teoria dos erros

5.1 Introdução

Para determinar o valor de uma determinada grandeza física, um observador que realiza diversas medições acuradas desta grandeza, sempre utilizando o mesmo instrumental, aplicando o mesmo método e se comportando do mesmo modo em todas elas, pode não encontrar o mesmo resultado em todas as medições. A teoria dos erros atribui estas diferenças aos chamados **erros de observação** ou **incertezas**.

5.2 Erros de medida

Os resultados das medições de uma grandeza física estão sujeitos a imprecisões por causas diversas; ou seja, qualquer medida está sujeita a erros. O máximo que poderemos fazer numa medição é procurar minimizar a margem de erro através da melhoria ou troca dos processos utilizados, através da utilização de instrumentos de medida mais adequados e precisos e também treinando ou utilizando observadores mais preparados e mais treinados quando as medições dependem de observadores.

De um modo geral, os **erros de observação** ou **incertezas** que comumente **afetam as medidas** podem ser classificados em:

- **erros grosseiros**, provenientes da falta de cuidado ou da inexperiência de quem observa, em relação ao processo ou instrumental utilizado. Um exemplo deste tipo de erro seria o observador ler, numa balança de prato, 132 g e registrar 123 g.
- **erros sistemáticos**, provenientes da imperfeição do material ou do método utilizado pelo observador. Um exemplo seria o erro de calibração de uma balança de prato, onde o “fiel” não esteja “zerado”, provocando desvio das medidas sempre em um mesmo sentido.
- **erros fortuitos**, provenientes de fatores incontroláveis pelo observador, fazendo que o resultado flutue em torno de uma média. Estes erros ocorrem em todas as medições, não podendo ser evitados, corrigidos ou minimizados, mas podendo ser tratados pela chamada Teoria de erros.

5.3 Estimativa do valor verdadeiro de uma grandeza

Como é impossível obter em uma medição uma medida exata de uma grandeza física, para indicar o valor que melhor representa uma medida, realizamos sempre um grande número de

medições, estabelecendo a partir deste conjunto de medições, o intervalo no qual provavelmente estará inserido o valor verdadeiro da grandeza.

Vamos considerar um observador que realize “n” medições, em igualdade de condições, sendo obtidos os valores das medidas ($m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$), todos “merecedores de igual confiança” (PAULI, 1979). Para estabelecer o intervalo que mais provavelmente contém o valor verdadeiro da medida da grandeza, o observador deverá:

(1°) determinar a média aritmética dos valores das medidas obtidas nas medições. A **média aritmética** (\bar{m}) é calculada através da expressão:

$$\bar{m} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n}$$

onde m_1, m_2, \dots, m_n são os valores das n medidas.

Obs.: Com a média aritmética dos valores das medidas se supõe compensar parte dos erros fortuitos. Logo, ela não indica perfeitamente o valor verdadeiro da grandeza medida.

(2°) calcular o desvio absoluto de cada uma das medidas. O **desvio absoluto** (d_i) correspondente ao valor de cada uma das medidas (m_i) é igual ao módulo da diferença entre cada uma das medidas e o valor médio destas medidas.

$$d_i = |m_i - \bar{m}|$$

onde d_i é o desvio absoluto do valor da medida m_i
 \bar{m} é a média do valor das medidas m_i

(3°) calcular a média aritmética dos desvios dos valores das medidas. O **desvio médio absoluto** (\bar{d}) nos dá uma estimativa do erro existente na média aritmética (\bar{m}), isto é, até onde o seu erro pode chegar.

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$$

onde d_1, d_2, \dots, d_n são os desvios absolutos das n medidas.

(4°) para representar o intervalo dentro do qual provavelmente se encontra o valor verdadeiro da grandeza (m^*), aceitando por simplicidade que o desvio médio absoluto (\bar{d}) seja igual ao desvio padrão das n medidas, se expressa da seguinte forma:

$$m^* = \bar{m} \pm \frac{\bar{d}}{\sqrt{n}}$$

onde m^* é um intervalo dentro do qual provavelmente se encontra o valor verdadeiro da grandeza.

5.4 Desvio absoluto e relativo de uma medida

Para estabelecer a confiabilidade de uma medida em função das “n” medições obtidas na subseção 5.3(medidas $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$), o observador deverá:

(1º) calcular o **desvio relativo** (d_{Ri}) de cada medida. Para isto, divide-se o seu desvio absoluto (d_i) pela média aritmética (\bar{m}) das medidas.

$$d_{Ri} = d_i / \bar{m}$$

(2º) calcular o **desvio percentual** (d_{Pi}) de cada medida (m_i). Para isto, multiplica-se o desvio relativo por 100.

$$d_{Pi} = |d_{Ri} \times 100| \%$$

Obs.: A medida considerada mais precisa é aquela que possui o menor desvio percentual.

Um exemplo

Em três medições do tempo decorrido na queda de uma mesma esfera de chumbo, solta de uma mesma altura e no mesmo local, foram obtidas as seguintes medidas: 0,73 s, 0,68 s e 0,75 s.

Neste caso, o valor médio do tempo de queda da esfera (\bar{t}) será:

$$\bar{t} = \frac{0,73 \text{ s} + 0,68 \text{ s} + 0,75 \text{ s}}{3} = \frac{2,16 \text{ s}}{3} = 0,72 \text{ s}$$

Os desvios individuais são:

$$d_1 = |0,73 \text{ s} - 0,72 \text{ s}| = 0,01 \text{ s} \quad d_2 = |0,68 \text{ s} - 0,72 \text{ s}| = 0,04 \text{ s} \quad d_3 = |0,75 - 0,72| = 0,03 \text{ s}$$

O desvio absoluto médio é:

$$\bar{d} = \frac{0,01 \text{ s} + 0,04 \text{ s} + 0,03 \text{ s}}{(3)} \cong \frac{0,08 \text{ s}}{3} \cong 0,03 \text{ s}$$

O intervalo dentro do qual provavelmente se encontra o valor verdadeiro do tempo de queda da esfera:

$$t^* \cong (0,72 \pm 0,03/ 3^{1/2}) \text{ s} = (0,72 \pm 0,02) \text{ s} \quad \text{logo} \quad 0,70 \text{ s} < m < 0,74 \text{ s}$$

Obs.: Esta representação (t^*) indica o intervalo ao qual, provavelmente, pertence o valor verdadeiro da grandeza. O nível de confiança é de 68% se ao invés de utilizarmos o desvio médio absoluto utilizássemos na expressão acima, o desvio padrão. Para uma distribuição normal o desvio médio absoluto é 0,6 vezes o desvio padrão. O nível de confiança é cerca de 50%.

Os desvios relativos dos valores das medidas são:

$$d_{R1} = 0,01 \div 0,72 = \mathbf{0,01} \quad d_{R2} = 0,04 \div 0,72 = \mathbf{0,06} \quad d_{R3} = 0,03 \div 0,72 = \mathbf{0,04}$$

Os desvios percentuais dos valores das medidas são:

$$d_{P1} = 0,01 \times 100\% = \mathbf{2\%} \quad d_{P2} = 0,06 \times 100\% = \mathbf{6\%} \quad d_{P3} = 0,04 \times 100\% = \mathbf{4\%}$$

Obs.: *Através dos resultados obtidos, podemos considerar a medida m_1 como sendo a mais precisa e a medida m_2 como sendo a menos precisa.*

6 - Pressão

6.1 Conceito e definição de pressão

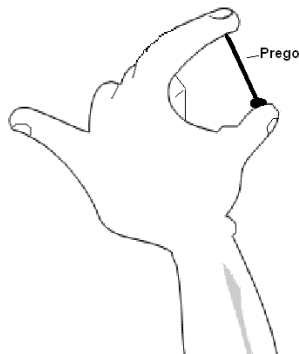


Figura 3: Dedos pressionam um prego.

Para entender melhor o conceito da grandeza física pressão, vamos considerar um prego comum mantido “comprimido” entre o dedo indicador e o dedo polegar de uma pessoa, como mostra a Figura 3.

Sabemos que as forças que o dedo indicador e o dedo polegar exercem sobre as extremidades do prego têm a mesma intensidade (desprezando-se as forças da gravidade e de empuxo do ar no prego), mas como explicar que a dor é maior no dedo indicador em contato com a ponta do prego.

A explicação está apoiada no fato de que estas duas forças são exercidas sobre áreas diferentes, produzindo efeitos diferentes. No caso da ponta do prego a força é aplicada numa superfície menor, produzindo maior dor. Dizemos que neste ponto a **pressão** é maior. Isto também ocorre quando, ao pisar no pé de outrem com um salto feminino ou com um salto de uma bota militar, mesmo que as pessoas exerçam a mesma força sobre o pé, produzirão dores diferentes, maior no caso do salto feminino, em que a pressão sobre a área de apoio é maior.

A **pressão (p)** é uma grandeza física escalar, sendo definida pela razão entre a **intensidade da força (F_N)**, exercida perpendicularmente à superfície (força normal à superfície), e a **área da superfície (A)** onde está distribuída a força, isto é:

$$P = \frac{F_N}{A}$$

onde **F_N** é dado em N (newtons)
A é dado em m².

A **unidade** de pressão no S.I. é o **pascal (Pa)**, que corresponde à pressão de um newton por metro quadrado (N/m²). Esta unidade ainda não é muito utilizada pelos cientistas e técnicos que a medem, sendo ainda empregada com muita frequência em aparelhos de precisão, como manômetros, barômetros e monitores de pressão arterial entre outros, outras unidades de pressão, como:

- bária (1 ba = 0,1 Pa),**
- bar (1 bar = 10⁵ Pa),**
- milibar (1 milibar = 100 Pa = 1 hPa),**
- kgf/cm² (1 kgf/cm² = 98.000 Pa),**
- atm (1 atm = 1,013x10⁵ Pa),**
- cmHg (1 cmHg = 1333 Pa) e**
- mmHg (1 mmHg = 133 Pa).**

Algumas das unidades citadas serão trabalhadas mais adiante neste texto. A unidade bária (**ba**) teve origem no sistema C.G.S., onde a intensidade da força é dada em dinas (**dyn**) e a unidade de área, em centímetros quadrados (**cm²**), sendo **1 ba = 1 dyn / cm² = 0,1 Pa**.

Obs.: Quando “afiamos” uma faca, raspamos as laterais da lâmina junto ao “fio”, reduzindo a espessura dela neste ponto; conseqüentemente diminuimos a área de contato dela com o que se quer cortar. Logo, depois de afiar a faca, consegue-se uma maior pressão no local em contato com o “fio”, cortando melhor.

6.2 A pressão nos líquidos

Simon Stevin, um matemático e físico holandês especialista na estática dos fluidos, enunciou o princípio que permite a determinação da pressão produzida por uma coluna líquida em repouso (hidrostática), chamada de **pressão manométrica hidrostática (p_H)**. Em um ponto no interior de um líquido homogêneo p_H é definida como a diferença entre a pressão neste ponto e num ponto na superfície de contato do líquido com o meio externo, pois o meio externo também exerce uma pressão sobre o líquido. Segundo o princípio de Stevin, a pressão manométrica hidrostática em um ponto é diretamente proporcional à profundidade desse ponto e à densidade absoluta deste líquido. Essa pressão atua em todas as direções, resultando em forças sempre perpendiculares às superfícies dos corpos em contato com o líquido.

A Figura 4 mostra como a água pressiona, em todas as direções, bolas de plástico imersas em seu interior, aumentando com a profundidade. Já a Figura 5 mostra o gráfico da **pressão manométrica hidrostática** produzida em três líquidos, de diferentes densidades absolutas (GASPAR, 2001), em função da profundidade.

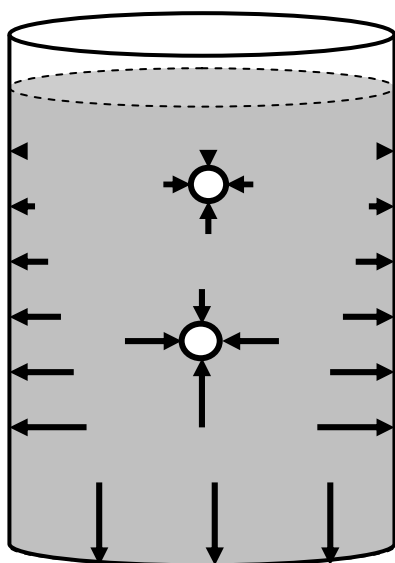


Figura 4: Direções de atuação da pressão hidrostática com a profundidade.

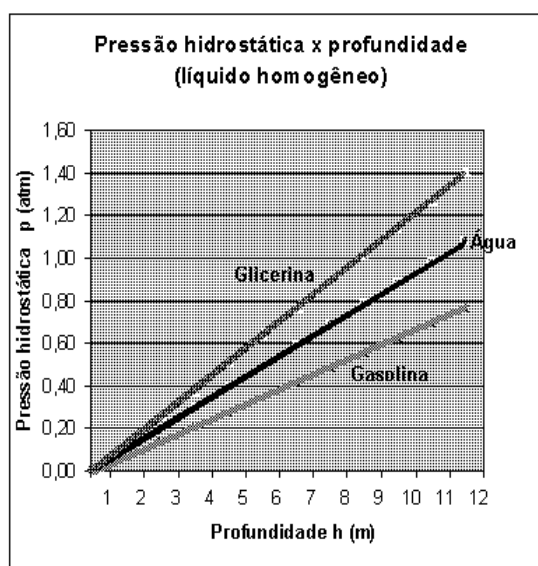


Figura 5: Pressão hidrostática em função da profundidade, para gasolina, água e glicerina.

A **pressão manométrica hidrostática** produzida em um ponto localizado a uma **profundidade (h)** dentro de um líquido homogêneo em equilíbrio, de **densidade absoluta (ρ)**, em um local onde a **aceleração da gravidade (g)** é constante, é determinada através da expressão:

$$p_H = \rho \cdot g \cdot h$$

Exemplos e aplicações:

1. Pressão manométrica exercida por uma coluna de 76 cm de mercúrio ao nível do mar.

$$p_{Hg} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,76 \text{ m} = \mathbf{101.300 \text{ Pa}} = 1 \text{ atm} = \mathbf{76 \text{ cmHg}}$$
2. Pressão manométrica exercida por uma coluna de 10,3 m de água pura ao nível do mar.

$$p_{Hg} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 10,3 \text{ m} = \mathbf{101.300 \text{ Pa}} = 1 \text{ atm}$$
3. A cada **10 m** de aprofundamento na água pura, a pressão hidrostática aumenta **1 atm**. Já no mercúrio, para aumentarmos a pressão de **1 atm** deveremos aprofundar apenas **76 cm**.
4. Nos aparelhos de monitoramento de pressão arterial, a medida considerada como normal da pressão arterial é de **12 cmHg** por **8 cmHg**. Os **12 cmHg** indicam a **pressão sistólica**, que é a pressão (manométrica) arterial máxima exercida pelas paredes das artérias, durante a sístole cardíaca (compressão). Os **8 cmHg** indicam a **pressão diastólica**, que é a pressão (manométrica) arterial mínima exercida pelas paredes das artérias durante a diástole cardíaca (distensão). Também é usual usarem em hospitais e enfermarias as indicações de **120 mmHg** por **80 mmHg** como medidas de pressão arterial normal. O significado prático destas medidas é que se o coração bombeasse mercúrio, em vez de sangue, a coluna suspensa oscilaria entre 8 cm e 12 cm de altura; se bombeasse água, a coluna de água oscilaria entre 109 cm e 163 cm de altura.

6.3 A pressão atmosférica

No início do século XVII ainda se desconhecia a causa da impossibilidade da elevação de colunas de água acima de cerca de 10 metros, utilizando-se de bombas aspirantes (a “vácuo”) em poços profundos, problema que foi apresentado e não resolvido por Galileu Galilei.

Em 1643, um dos discípulos de Galileu, o físico e matemático Evangelista Torricelli encontrou a resposta para a altura limite de aspiração de água, realizando uma experiência com outro líquido que era 13,6 vezes mais denso que a água, o mercúrio metálico.

Em seu experimento, Torricelli encheu de mercúrio um tubo de vidro de 1,0 m de comprimento, que era fechado em uma das extremidades, tampou a extremidade aberta (1ª parte da Figura 6) e a mergulhou num outro frasco contendo mercúrio, segurando o tubo na vertical (2ª parte da Figura 6). Depois de destampado o tubo com a boca imersa no mercúrio, ele verificou que se mantinha equilibrada uma coluna de 76 cm de mercúrio dentro do tubo, acima da superfície do mercúrio em contato com o ar no frasco de imersão, sendo o restante da coluna praticamente vácuo ($p \cong 0 \text{ atm}$) (3ª parte da Figura 6), o denominado “vácuo de Torricelli”. Na realidade ali existe vapor de mercúrio a uma pressão muito pequena (a 25°C, em torno de 10^{-6} atm), considerada desprezível neste caso.

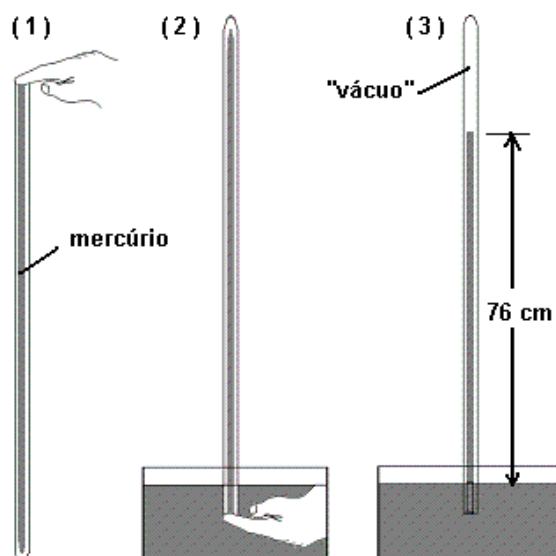


Figura 6: Seqüência do experimento de Torricelli.

A conclusão de Torricelli foi que a pressão da coluna de 76 cm de mercúrio equilibrava a pressão atmosférica, ao nível do mar, ou seja, a pressão produzida por uma coluna de 76 cm de mercúrio é igual à pressão produzida por uma coluna atmosférica com mais de 80 km de altura.

Sempre é bom lembrarmos que a densidade absoluta da atmosfera, em torno de 1 kg/m^3 ao nível do mar, diminui muito com a altitude, apresentando uma variação não-linear, pois a pressão atmosférica também diminui.

Para se obter analiticamente o valor da pressão atmosférica ao nível do mar, no S.I., devemos usar a equação de Stevin para determinar a pressão hidrostática produzida pela coluna de mercúrio, já que não podemos aplicá-la na coluna de ar, pela sua não-homogeneidade. Nesse caso a pressão manométrica é igual à pressão absoluta, pois acima do mercúrio, dentro do tubo, não há nada (“vácuo de Torricelli”). Obtém-se, então:

$$p_{\text{atm}} = p_{\text{Hg}} = \rho \cdot g \cdot h = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,76 \text{ m} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$p_{\text{atm}} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$$

6.4 A variação da pressão atmosférica

Em 1647, o filósofo e cientista francês Blaise Pascal repetiu a experiência de Torricelli para determinação da pressão atmosférica para diversas altitudes. Ele observou que a pressão atmosférica diminuía quando ele subia na montanha do Dome, em Rouen na França, confirmando uma das hipóteses de Torricelli para a variação da pressão atmosférica. A explicação é relativamente simples, pois quanto mais alto e mais distante do centro da Terra, menor é a altura da camada de ar que existe sobre aquele local, sendo menor a pressão exercida por ela. Ao contrário, se nos aprofundamos numa mina de ferro ou sal, maior é a camada de ar sobre aquele local, sendo maior a pressão atmosférica.

A Tabela 5 apresenta a variação da pressão atmosférica, medida em atmosferas (**atm**) ou centímetros de mercúrio (**cmHg**), em função da variação da altitude, dada em quilômetros (**km**), à temperatura de 0 °C, tomando o nível do mar como referência, ou seja, altitude 0 km. (MÁXIMO; ALVARENGA, 1997).

Tabela 5: Pressão atmosférica em função da altitude.

Altitude (km) (em relação ao nível do mar)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Pressão atmosférica (cmHg)	76	67	60	53	47	41	36	31	27	24	21
Pressão atmosférica (atm)	1,00	0,88	0,79	0,70	0,62	0,54	0,47	0,41	0,36	0,32	0,28

A Figura 7 apresenta o gráfico da **pressão atmosférica**, dada em **atm**, em função da **altitude**, dada em **km**, relacionando os dados registrados na Tabela 5.

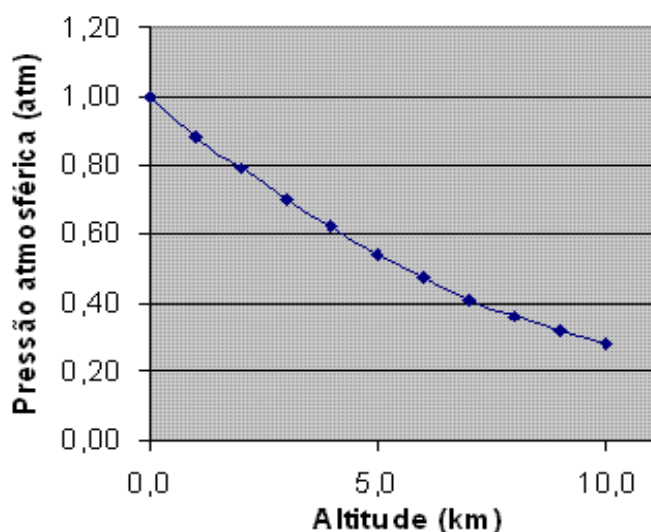


Figura 7: Gráfico da pressão atmosférica em função da altitude.

Para pequenas altitudes (0 – 10 km), podemos verificar que a pressão atmosférica (p_{atm}) pode ser relacionada aproximadamente com o valor da altitude (h) através da seguinte expressão:

$$p_{atm} \approx 0,88^h$$

onde p_{atm} é dada em atmosferas (**atm**).

h é numericamente igual a altitude dada em quilômetros (**km**).

Exemplos: => 3 km de altura => $p_{atm} = 0,88^3 = 0,68$ atm
=> 10 km de altura => $p_{atm} = 0,88^{10} = 0,28$ atm
=> 500 m de altura => $p_{atm} = 0,88^{0,5} = 0,71$ atm

7 - Aquisição automática de dados usando uma placa de som⁴

7.1 Introdução

Cada vez mais, a utilização de computadores em escolas de Ensino Fundamental e Médio, se torna uma atividade do cotidiano dos alunos e dos professores. Cabe aos professores melhorarem e atualizarem suas práticas de ensino, aprendendo e adaptando-se às novas tecnologias, bem como aproximando estas tecnologias dos alunos, propiciando também uma alfabetização científica dos mesmos.

Com este intuito, preparamos este texto em linguagem simples e de passos comedidos para introduzir a aquisição automática de dados, em laboratório didático de ensino de Física, usando a placa de som do microcomputador como interface entre ele e o experimento, um *software* que registra e armazena os dados coletados e os sensores como os órgãos sensoriais do microcomputador, que “sentem” as mudanças que ocorrem nos meios, conforme exemplos que seguem:

- os olhos → fototransistores, fotorresistores e fotodiodos.
- os ouvidos → microfones magnéticos e a eletreto.
- o tato → termistores, chaves interruptoras, botões *reset* e potenciômetros.

7.2 Sensores ou transdutores⁵

Os **transdutores** são dispositivos que permitem a conversão de sinais, desde que pelo menos um dos sinais seja de natureza elétrica (Larousse, 1999). Em cibernética e em eletrônica são conhecidos como **sensores**, descritos como dispositivos da eletroeletrônica que têm a propriedade de transformar em sinal elétrico as alterações ocorridas numa determinada grandeza física, ou o inverso, que está relacionada a uma ou mais propriedades do material de que é feito o sensor.

Existem diferentes tipos de sensores, destacando-se entre eles, o fotodiodo, o fototransistor, e o fotorresistor para conversão luminoso-elétrica; a lâmpada e o diodo emissor de luz, ou LED, para conversão elétrico/luminosa; o microfone magnético, o microfone piezelétrico e o eletreto para conversão sonoro-elétrica; o alto-falante e o fone piezelétrico para conversão elétrico-sonora; as chaves interruptoras e *reset* para conversão mecânico-elétrica; os termistores NTC e PTC para a conversão térmico-elétrica e os motores e eletroímãs para conversão elétrico-mecânica.

Neste texto, que não é inédito nem *prima* pela precisão da linguagem científica nesta área, além de apresentarmos as características de alguns sensores previamente escolhidos, ou seja, a sua forma mais comum no mercado, a sua estrutura física e o seu funcionamento, apresentamos

⁴ Este trabalho teve início na disciplina de Novas Tecnologias no Ensino de Física 2006/1 do Mestrado Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física da UFRGS.

⁵ Seção baseada em Silva et al (2005).

pequenas sugestões e observações que consideramos importantes e necessárias para um bom uso deles na coleta de dados, num laboratório didático no Ensino de Física, iniciando pelos fotodiodos.

7.2.1 Fotodiodos

Os fotodiodos são dispositivos eletrônicos feitos de um material semicondutor, normalmente de silício. Os fotodiodos possuem uma junção semicondutora, que tem a propriedade de variar a sua resistência elétrica em função da intensidade da luz (número de fótons) nela incidente. São normalmente usados na leitura de códigos de barra, pela sua rapidez de resposta, e para acionar alguns dispositivos eletroeletrônicos (controles-remotos, alarmes, trancas elétricas,...). A Figura 8 apresenta uma foto de diodos comerciais e o símbolo dele mais utilizado em circuitos.

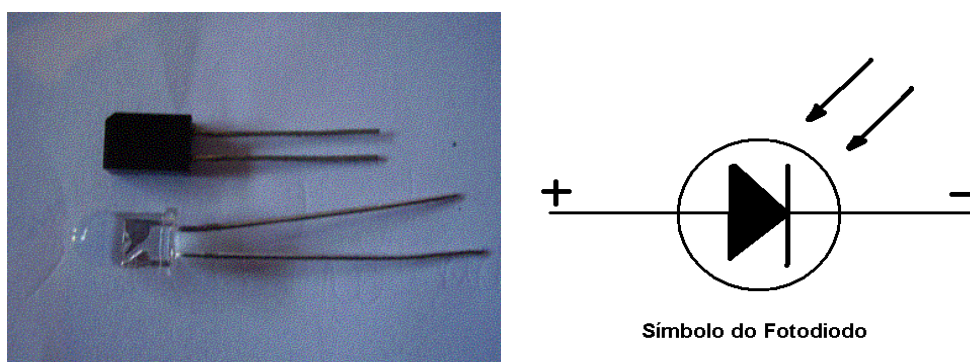


Figura 8: Foto e símbolo de diodos comerciais.

Com a ausência de luz e reversamente polarizado (ligado ao contrário dos diodos comuns), o fotodiodo não conduz corrente elétrica (apresenta resistência elétrica "infinita"). Se incidir luz na junção semicondutora do fotodiodo, a sua resistência elétrica diminui, havendo condução de corrente elétrica de microamperes até alguns miliamperes, algumas vezes o suficiente para acionar as portas digitais da placa de som de um microcomputador. Pelas suas características, o fotodiodo tem pouca indicação de uso num laboratório didático no ensino de Física, pois normalmente deve vir associado a um circuito amplificador de sinal.

7.2.2 Fotorresistores

Os fotorresistores são dispositivos fotoelétricos que variam muito a sua resistência elétrica com a variação da intensidade da luz nele incidente (de dezenas de ohms até milhões de ohms). Eles são muito sensíveis à luz, embora sejam considerados "lentos" em comparação aos fotodiodos, pois não conseguem detectar o "piscar" de lâmpadas fluorescentes, sendo também conhecidos como LDR (*Light Dependent Resistor*), fotocélula, célula fotocondutora, ou ainda, dispositivo do "olho eletrônico".

O fotorresistor normalmente é composto de uma cápsula plástica onde existe uma lâmina de sulfeto de cádmio, que é a substância sensível à luz; não são eletricamente polarizados, e, não

suportam a passagem de grandes correntes elétricas. Eles são usados para acionar, dispositivos eletro-eletrônicos como alarmes, trancas elétricas, portas, circuitos eletrônicos de partida,...

A Figura 9 apresenta uma foto de um fotorresistor comercial e o símbolo que costuma representá-lo em circuitos elétrico.

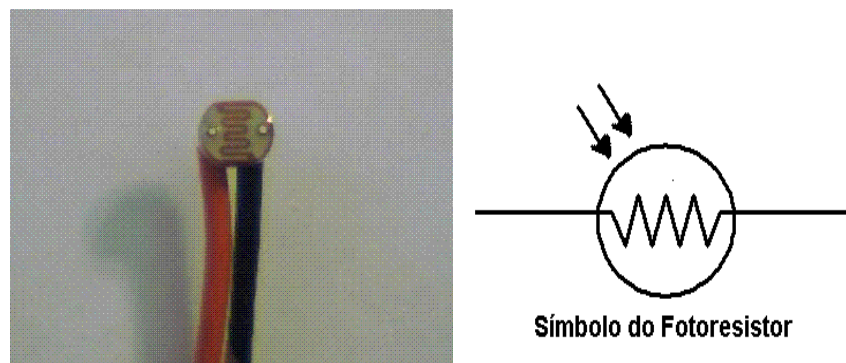


Figura 9: Foto e símbolo de fotorresistores comerciais.

Num laboratório didático de Física o uso do fotorresistor é bastante flexível. Por exemplo, ele pode ser usado:

- para determinar a intensidade relativa da luz nele incidente, através da sua resistência elétrica, que é inversamente relacionada ao quadrado da distância a uma fonte pontual de luz;
- para determinar os instantes em que ocorrem o início e o término do cruzamento de um móvel, como por exemplo um bloco de madeira deslizando, pelos feixes de luz que iluminam os fotorresistores, sendo possível a determinação de sua velocidade média.

Obs.: *Os fotorresistores são um pouco lentos na alteração de sua resistência elétrica, não servindo, por exemplo, para medir os intervalos de tempo entre o acender e o apagar de uma lâmpada fluorescente ($\Delta t < 0,01$ s).*

7.2.3 Fototransistores

Os fototransistores são dispositivos feitos normalmente de silício semicondutor. Eles possuem duas junções semicondutoras, que têm a propriedade de variar a sua resistência elétrica em função da intensidade da luz nelas incidentes. Por isso são chamados de **trans-resistores** (do inglês: *transference resistor*) **fotoelétricos**.

Os fototransistores são usados para acionar dispositivos eletro-eletrônicos como controles-remotos, alarmes, trancas elétricas, portas, circuitos eletrônicos de partida,... Com a ausência de luz e inversamente polarizadas, as junções não conduzem corrente elétrica, pois apresentam resistência elétrica "infinita". Se incidir luz ou radiação infravermelha nestas junções, a sua resistência elétrica diminui muito, havendo condução intensa de corrente elétrica.

A Figura 10 apresenta uma fotografia de um fototransistor comercial e o símbolo que costuma representá-lo em circuitos elétricos.

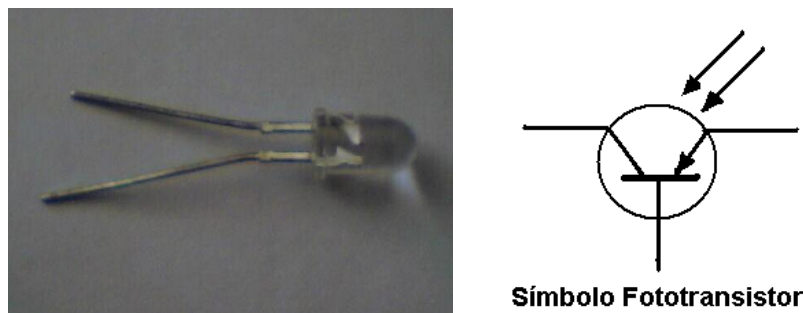


Figura 10: Foto e símbolo de um fototransistor comercial.

Pelas suas características, o fototransistor tem forte indicação de uso num laboratório didático no ensino de Física, pois suas variações de resistência elétrica são muito significativas. São usados:

- para determinar a intensidade relativa da luz incidente no fototransistor, relacionando-a com a sua resistência elétrica;
- para determinar os instantes de tempo em que ocorrem o início e o término do cruzamento, de um corpo extenso em movimento, com o(s) feixe(s) de luz que ilumina(m) o(s) fototransistor (es), sendo possível à determinação do tempo decorrido, de sua(s) velocidade(s) instantânea(s) e/ou sua(s) velocidade(s) média(s).

Observações:

- O fototransistor e o fotodiodo têm respostas mais rápidas à variação da intensidade da luz sobre eles do que os fotorresistores, servindo bem de sensores ópticos em eventos muito rápidos.
- O fototransistor permite correntes mais altas do que o fotodiodo.
- A fim de evitar a "interferência" da luz ambiente com a luz emitida por um LED ou uma pequena lâmpada incandescente para o fototransistor, coloca-se um pequeno tubo opaco ao seu redor. O mesmo pode ser feito ao redor da pequena lâmpada e do LED (*light emitter diode*) que o ilumina, para evitar que a luz emitida se disperse.
- O manuseio e soldagem do fototransistor, assim como no caso do fotodiodo, deve ser cuidadoso, pois, o aquecimento excessivo ou a inversão de seus conectores podem inutilizá-los completamente. Então, é preciso cuidado com a polarização correta no circuito.

7.2.4 Microfones e eletretos

Os microfones são dispositivos eletroeletrônicos que servem para converter energia (sinal) sonora (o) em energia (sinal) elétrica (o). Existem vários tipos de microfones no mercado, mas todos eles apresentam uma membrana flexível, chamada de **diafragma**. O diafragma entra em vibração ao receber as ondas sonoras, e esta vibração, por um processo específico, produz um sinal elétrico, que posteriormente é amplificado e filtrado em aparelhos eletrônicos.

A Figura 11 apresenta uma foto de microfones magnéticos, de eletretos comerciais e o símbolo que o representa em circuitos elétricos.

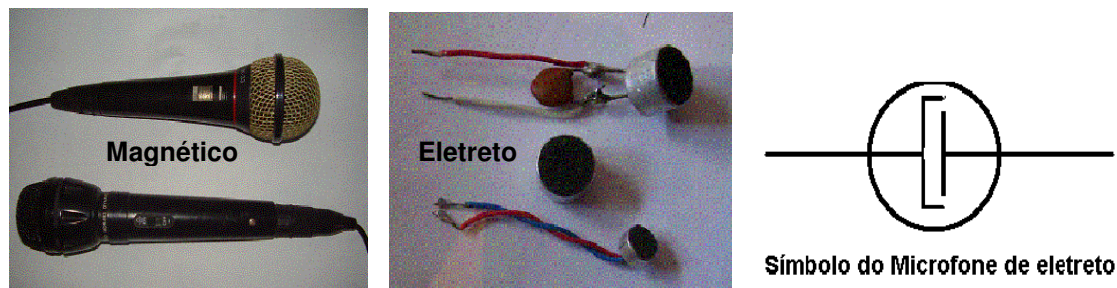


Figura 11: Fotos de microfones magnéticos, de eletretos comerciais e seu símbolo.

Os microfones apresentam diferentes sistemas de transformação de sinal sonoro em elétrico. Se num microfone a transformação do sinal sonoro em sinal elétrico:

(a) usar uma bobina fixa a uma membrana e um ímã é chamado de "*microfone dinâmico de bobina móvel*", onde a indução eletromagnética na bobina gera a corrente elétrica. São mais caros e com impedâncias próximas a 600 ohms;

(b) usar um cristal piezelétrico fixo a uma membrana é chamado de "*microfone piezelétrico*", onde a deformação de um cristal gera a corrente elétrica. Produzem muitos ruídos e tem alta impedância;

(c) usar uma membrana metálica próxima a um eletreto é chamado de microfone de eletreto. O eletreto é um material de origem ferrosa que funciona como um condensador sempre polarizado. São os mais usados atualmente em microcomputadores, alarmes, interfones, pequenos transmissores, etc., porque são mais baratos, mais leves, muito mais resistentes a choques e a umidade. Tendo impedância próxima a 1500 ohms precisam de potencializador.

Muitas são as aplicações de um microfone num laboratório didático no ensino de Física, por exemplo:

- um único microfone pode ser usado para analisar o som recebido de uma fonte, em termos de altura e/ou intensidade e/ou timbre;
- um único microfone pode ser usado para indicar o instante em que ocorre o choque entre dois móveis que estão em movimento e em rota de colisão;
- um único microfone pode ser usado para indicar os instantes em que ocorrem os sucessivos choques de uma bolinha de pingue-pongue com uma superfície horizontal;
- dois microfones (estéreo), por exemplo, podem ser usados para determinar a velocidade do som no ar.

7.2.5 Potenciômetros

Os potenciômetros são dispositivos elétricos que têm a sua resistência elétrica alterada mecanicamente. Eles são também conhecidos como resistores variáveis, ou ainda, reostatos, sendo muito usados para controlar as características de entrada/saída de aparelhos eletrônicos, como

volume, balanço, graves, brilho, contraste, cor, tempo de funcionamento (em TV, rádios, dispositivos de CD e DVD, monitores, relógios,...).

A Figura 12 apresenta uma foto de potenciômetros comerciais e o símbolo representativo usual em circuitos elétricos.

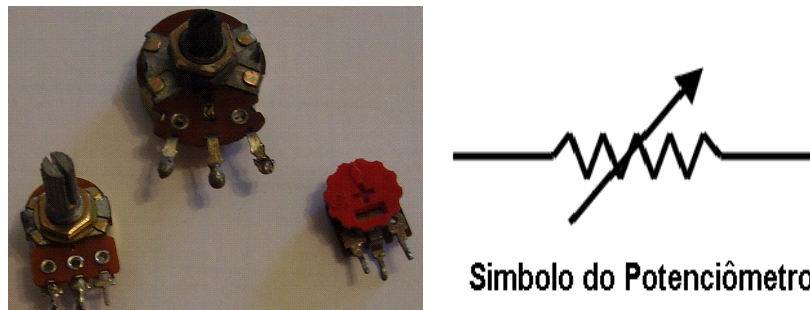


Figura 12: Foto de potenciômetros comerciais e seu símbolo representativo.

Os potenciômetros possuem internamente uma trilha resistiva (de níquel-cromo ou pó de carbono), sobre a qual desliza um **cursor**, que altera a resistência elétrica entre seu conector central e um dos dois laterais (normalmente são três conectores). Eles não são eletricamente polarizados.

Existem diversos tipos de resistores, dentre eles podemos destacar pelo seu funcionamento:

- se o **deslizamento do cursor** for *retilíneo*, o chamado *linear*, se for *circular*, o chamado *angular* (mais comum);
- se a **alteração da resistência elétrica do potenciômetro** for proporcional ao *deslocamento* ou à *rotação* do cursor, sua escala é dita *linear*; se for *proporcional ao logaritmo do deslocamento* ou *rotação* do cursor, sua escala é dita *logarítmica*.

Como exemplos de utilização de potenciômetros num laboratório didático no ensino de Física, podemos citar:

- um **potenciômetro retilíneo linear**, usado para determinar as posições lineares e medir os deslocamentos de um móvel, num trajeto retilíneo;
- um **potenciômetro angular linear**, usado para determinar as posições angulares e medir os deslocamentos angulares de um móvel, num trajeto circular ou curvilíneo (por exemplo, ao redor do eixo do potenciômetro angular, entre 0° e 240°), em movimentos com trajetórias semicirculares (como ocorre num pêndulo rígido).

7.2.6 Reed-switches

Os *reed-switches* são dispositivos que funcionam como interruptores (liga [1] / desliga [0]), acionados por campos magnéticos produzidos por ímãs ou eletroímãs dele aproximados.

O *reed-switch* é composto por uma cápsula de vidro e de duas lâminas de um material ferromagnético (ligas de níquel e ferro). As duas lâminas são colocadas muito próximas, sem que haja contato entre elas, com uma das extremidades afixadas no vidro e mergulhadas num gás inerte, para não sofrerem oxidação ou deformação mecânica com o tempo. Para acionar o *reed-switch*, isto

é, para haver contato elétrico entre as lâminas, **é necessário induzir a magnetização nas lâminas**, aproximando do *reed-switch* ou um pequeno ímã ou um eletroímã, fazendo com que as lâminas se atraiam magneticamente,

A Figura 13 apresenta uma foto de dois *reed-switches* comerciais e o símbolo que usualmente os representa em circuitos elétricos.

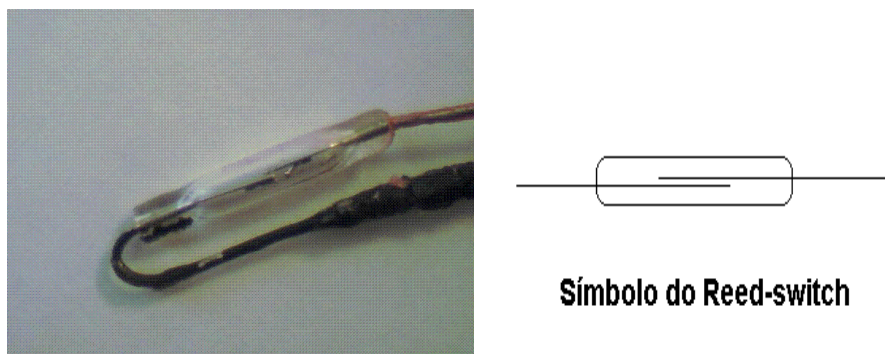


Figura 13: Foto de *reed-switches* comerciais e seu símbolo.

Os *reed-switches* são usados para acionar magneticamente, dispositivos eletroeletrônicos como alarmes, trancas elétricas, portas, circuitos eletrônicos de partida.

Num laboratório didático no ensino de Física, *reed-switches* podem ser usados, por exemplo:

- como um sensor de aproximação ou de afastamento de um móvel de um determinado ponto, já que o seu acionamento ocorre a pequenas distâncias de um ímã;
- para indicar a passagem de um móvel por um determinado, desde que exista um pequeno ímã fixo neste móvel.

Obs.: *O manuseio e soldagem dos reed-switches devem ser cuidadosos, pois, a dilatação térmica e a torção mecânica dos conectores podem trincar ou quebrar a cápsula de vidro, inutilizando-o completamente!*

7.2.7 Termistores

Os termistores são dispositivos elétricos que têm a sua resistência elétrica alterada termicamente, isto é, apresentam um valor de resistência elétrica para cada temperatura absoluta. Eles são muito usados para controlar/alterar a temperatura em dispositivos eletroeletrônicos, como alarmes, termômetros, "relógios", circuitos eletrônicos de compensação térmica, dissipadores de calor, ares-condicionados.

Existem dois tipos básicos de termistores: o **termistor PTC** (*Positive Temperature Coefficient*), que aumenta sensivelmente sua resistência elétrica com o aumento da temperatura, e, o **termistor NTC** (*Negative Temperature Coefficient*), que diminui sensivelmente a sua resistência elétrica com o aumento da temperatura. O termistor não é polarizado eletricamente.

A Figura 14 apresenta duas fotos de dois tipos de termistores comerciais e o símbolo representativo usual em circuitos elétricos.

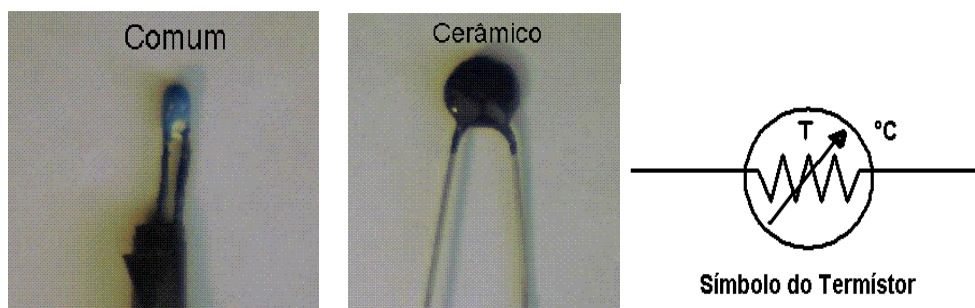


Figura 14: Fotos de termistores comerciais e seu símbolo.

Num laboratório didático no ensino de Física, um termistor NTC pode ser usado, por exemplo:

- para indicar a temperatura interna de uma sala ou de um ambiente qualquer;
- para indicar a temperatura atingida por uma amostra líquida, durante o seu aquecimento ou seu resfriamento lento (no ambiente);
- para disparar um sistema de aquecimento (aquários) ou resfriamento (refrigeradores e circuitos elétricos).

7.3 A placa de som de um microcomputador e conexões

Para a **aquisição automática de dados** é necessário, no mínimo, um **sensor** que “perceba” as alterações das características físicas de um meio, uma **interface** que realize a conversão do sinal analógico em digital e um **software** para registro e armazenamento de dados.

O uso de interfaces comerciais, que acompanham normalmente alguns *kits* de experimentos de aquisição automática de dados, ainda tem custo relativamente elevado para as escolas públicas e normalmente servem para apenas um experimento. Por isso, a utilização de interfaces que já existam nos microcomputadores das escolas de Ensino Médio favorece a implantação deste tipo de atividade, como a porta do *mouse*, a porta de impressora, a porta de *joystick* e das entradas e saída de áudio da placa de som do microcomputador.

7.3.1 A placa de som de um microcomputador

Em nosso trabalho escolhemos a **placa de som do microcomputador** como sendo a **interface** de conversão do sinal analógico/digital dos sensores em digital para a aquisição automática de dados, sendo que esta aquisição pode ser feita via **porta de joystick** ou das **entradas e saída de áudio** (HAAG, 2001). Nos computadores mais atuais, a porta de *joystick*, tipo conector DB15 não mais acompanha a placa de som *on-board* e algumas *off-board*, sendo necessário adquirir uma nova placa de som que apresente a porta de *joystick* ou um adaptador para a porta USB, que está sendo intensamente utilizada atualmente (impressoras, *mouses*, *scanners*, *web-cams*, filmadoras,....).

A Figura 15 apresenta uma foto de uma placa de som atual, com porta de *joystick*, com entradas de áudio (*mic* e *line-in*) e com saídas de áudio (*line-out* e *speaker*), e, a Figura 16 representa a face externa da placa de som simples num microcomputador.

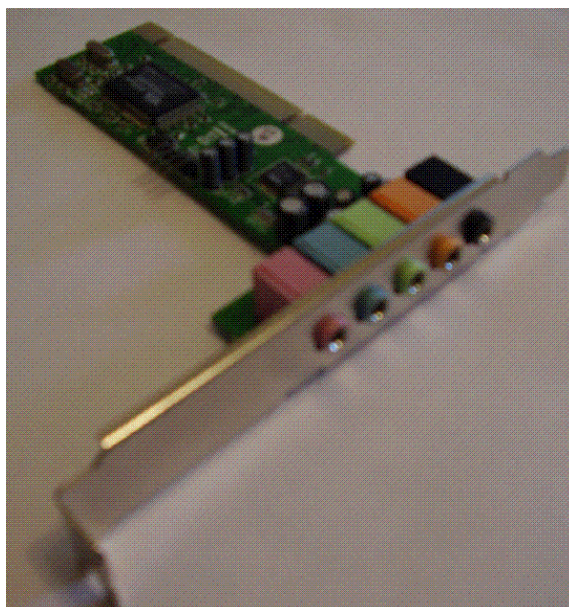


Figura 15: Foto de uma placa de som simples.

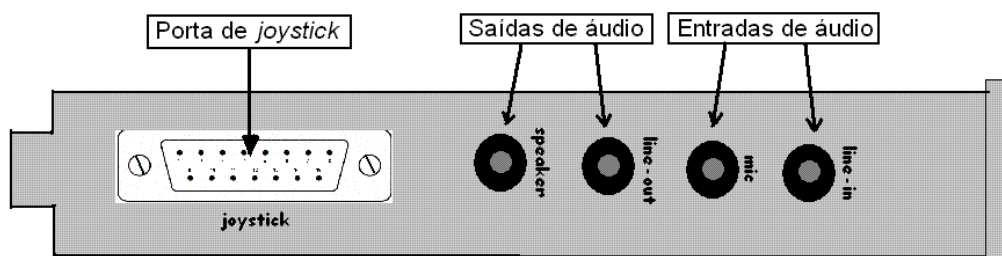


Figura 16: Face externa da placa de som num microcomputador.

Para aprofundar o estudo sobre o funcionamento da placa de som de um microcomputador acesse < <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/index.html> >, onde encontrará diversas outras informações sobre o uso e exemplos de aplicação de novas tecnologias ao Ensino Médio, em hipertextos desenvolvidos pelo grupo de professores e pesquisadores do Instituto de Física da UFRGS.

7.3.2 O conector DB15 “macho”: numeração dos pinos

O sensor escolhido para a coleta de dados deve ser conectado a uma das portas existentes na entrada de *joystick*, da placa de som do microcomputador, através dos pinos existentes no conector DB15. A Figura 17 apresenta uma foto do conector DB15 “macho”.



Figura 17: Foto do conector DB15 “macho”.

A Figura 18 apresenta a numeração dos pinos do conector DB15 “macho”, visto de frente, com os pinos numerados de 1 a 15.

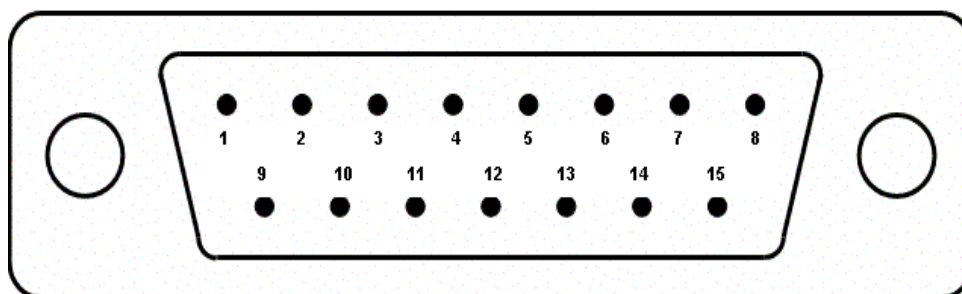


Figura 18: Numeração dos pinos do conector DB15 “macho”, vista de frente.

7.3.3 O conector DB15 “fêmea”: função dos pinos

Apenas para justificar as ligações a serem feitas no conector DB15, descrevemos na Tabela 6 a função de cada um dos pinos deste conector fêmea, existente na placa de som de um microcomputador. (Computadores novos normalmente não mais apresentam este conector.).

Tabela 6: Função dos pinos do conector DB15 (fêmea) da placa de som.

Pino	Função	Pino	Função	Pino	Função
1	+5 volts	6	Analógica 2	11	Analógica 3
2	Digital 1	7	Digital 2	12	Terra/Porta Midi
3	Analógica 1	8	+5 volts/sem uso	13	Analógica 4
4	Terra	9	+5 volts	14	Digital 4
5	Terra	10	Digital 3	15	+5 volts/Porta Midi

7.3.4 Conexão de um sensor numa entrada digital

No caso da conexão de um sensor numa entrada digital, ele deve ser conectado, primeiro, a **um dos pinos das portas digitais (2, 7, 10 ou 14)**, o qual apresenta o potencial elétrico mais elevado (+5 V), e depois, a **um dos pinos de terra (4 ou 5)**, o qual apresenta o potencial elétrico mais baixo (0 V).

Além das conexões citadas anteriormente, **deve-se fechar, pelo menos, duas portas analógicas**, para que o programa Aqdados 2.0 possa fazer uma leitura correta da(s) porta(s) digital(is) utilizada(s); para isto, conecte, com um fio condutor fino, os pinos 1, 3 e 6 (curto-circuito entre eles). A Figura 19 apresenta o esquema e a foto do conector DB15 “macho”, com ligações para a porta **Digital 1** da placa de som de um microcomputador.

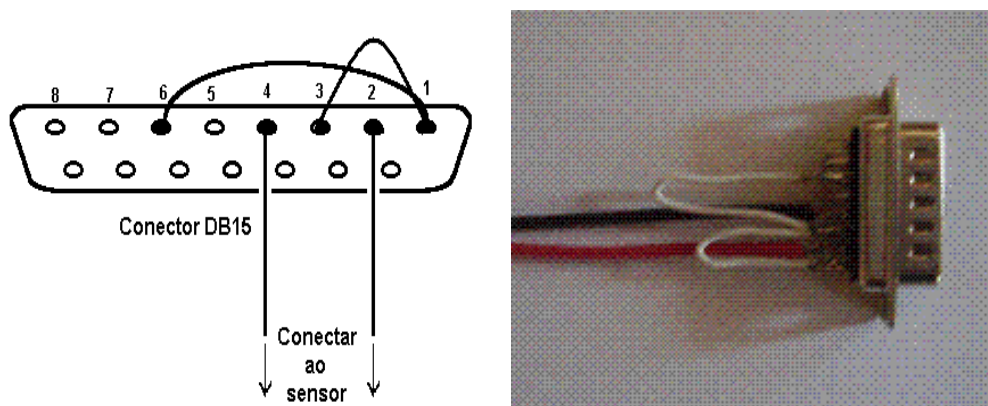


Figura 19: Esquema e foto do conector DB15 “macho”, com ligações para a porta Digital 1.

ATENÇÃO!

Tome muito cuidado, pois alguns sensores têm polaridade definida. Se mal conectados, estes sensores não funcionam e podem estragar (queimar).

7.3.5 Conexão de um sensor numa entrada analógica

No caso da conexão de um sensor numa entrada analógica, o sensor deve ser conectado, primeiro, a um dos pinos das portas analógicas (3, 6, 11 ou 13), o qual apresenta o potencial elétrico mais baixo (0 V), e depois, a um dos pinos de tensão (+5 V) (1, 8 ou 9), o qual apresenta o potencial elétrico mais alto (+5 V). Além das conexões citadas anteriormente, deve-se fechar uma porta analógica, para que o programa Aqdados 2.0 possa fazer uma leitura correta da(s) porta(s) analógica(s) utilizada(s), para isto, conecte, com um fio condutor fino, os pinos 1 e 6 (curto-circuito entre eles). A Figura 20 apresenta o esquema do conector DB15 “macho”, com ligações para a porta **Analógica 1** da placa de som de um microcomputador.

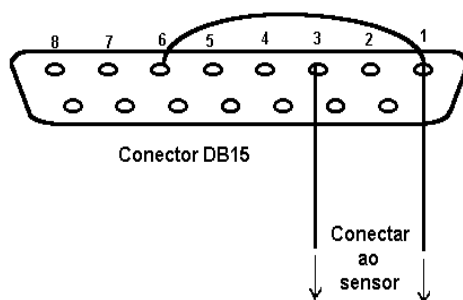


Figura 20: Esquema do conector DB15 “macho”, com ligações para a porta **Analógica 1**.

7.4 Coleta de Dados

O uso da placa de som do microcomputador deve ser acompanhado de um *software* específico para a aquisição de dados, que instrua o computador: (1°) de onde ele deve buscar os dados; (2°) como ele deve armazenar estes dados; (3°) como ele deve apresentar estes dados. As linguagens mais comuns destes *softwares* são Visual Basic, Pascal e Delphi.

Pela simplicidade e versatilidade de uso, escolhemos o *software* **Aqdados 2.0** (SILVA, 2008), escrito em linguagem Delphi, que coleta dados através das quatro portas analógicas e digitais, existentes na entrada de *joystick* da placa de som de um microcomputador (no conector DB15), e armazena os dados num arquivo do tipo "**dados.dat**". Este *software* foi elaborado no IF-UFRGS, estando disponível em: < <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/ives.html> >.

Para coletar os dados de um experimento utilizando o *software* **Aqdados**, após conectar o sensor na porta digital / analógica (através do conector DB15), deveremos:

- (1°) acessar o programa Aqdados 2.0, clicando o ícone do *software*, aparecendo, então, a tela do programa, como mostra a Figura 21.
- (2°) em “Entradas” : selecionar, com um clique, a porta a ser usada na coleta de dados (Analog1, Analog2,...).
- (3°) em “Número de Medidas”, digitar o número de medidas a serem coletadas (50, 200, 500, 1000,...).
- (4°) em “Delay”, escolher o intervalo de tempo entre duas “coletas” (de 5,0 ms a 1,0 s).
- (5°) clicar em “Coletar”, iniciando a coleta de dados (junto com o experimento escolhido).
Aguardar o final da coleta de dados.
- (6°) depois de encerrada a coleta de dados, o programa abre a janela “Salvar como”, onde deve ser nomeado o arquivo do tipo “**dados.dat**” e salvo em local apropriado, podendo ser aberto, posteriormente, numa planilha eletrônica (do tipo Excel).
- (7°) clique em “Ajustar Visualização” , para ter uma visão geral das medidas efetuadas, através do “Gráfico medidas versus resistência (u.a.)”.

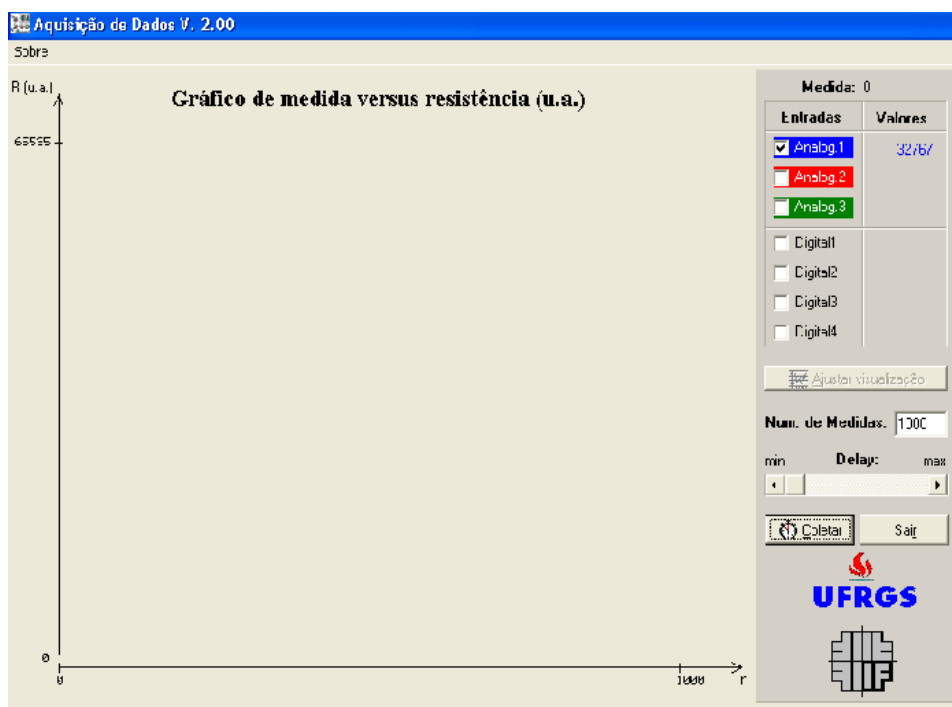


Figura 21: Tela do programa Aqdados 2.0.

7.5 Importação de Dados

Os passos a serem seguidos para a importação de dados descrita adiante deve ser aplicada somente para o caso de utilização do *software Aqdados*, ou **outro** software que coleta os dados num arquivo do tipo **dados.dat**. Neste caso, o arquivo deve ser aberto numa planilha eletrônica, como a planilha Excel, para análise e manipulação dos dados obtidos de um experimento, além de permitir a construção de gráficos (VEIT et al., 2008).

Para importar os dados para a planilha Excel, de um arquivo tipo dados.dat:

(1°) acesse a planilha Excel.

(2°) no menu, selecione em Arquivo => Abrir => “selecionar arquivo” => dados.dat.

(3°) no Assistente de Importação, selecione => Avançar => Concluir.

(4°) aparecendo a planilha, como mostra a Figura 22, é só “Salvar”, nomeando o arquivo (“dados”) como uma planilha do Excel, para análise e manipulação dos dados posteriormente.

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with a spreadsheet containing the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
8	7	4543	-	-	0	0	0	0			
9	8	4543	-	-	0	0	0	0			
10	9	4543	-	-	0	0	0	0			
11	10	4543	-	-	0	0	0	0			
12	11	4543	-	-	0	0	0	0			
13	12	4543	-	-	0	0	0	0			
14	13	4543	-	-	1	0	0	0			
15	14	4543	-	-	1	0	0	0			
16	15	4543	-	-	1	0	0	0			
17	16	4543	-	-	1	0	0	0			
18	17	4543	-	-	1	0	0	0			
19	18	4543	-	-	1	0	0	0			
20	19	4543	-	-	1	0	0	0			
21	20	4543	-		0	0	0	0			
22	21	4543	-	-	0	0	0	0			
23	22	4543	-	-	0	0	0	0			
24	23	4543	-	-	0	0	0	0			
25	24	4543	-	-	0	0	0	0			

Figura 22: Tela de importação de dados da planilha Excel.

8 - Relações entre grandezas físicas de um mesmo fenômeno

8.1 Introdução

A análise dos dados obtidos em medições de grandezas físicas selecionadas para caracterizar um determinado evento e o estudo do seu comportamento frente às outras grandezas são de grande importância nas ciências em geral, principalmente nas ditas exatas. A Física, a Engenharia, a Química, e outras utilizam estes conhecimentos para a descrição e melhor compreensão das propriedades do universo que nos rodeia. A partir de uma coleta de dados é possível fazer previsões, extrapolações e sugerir aplicações que poderão ser utilizados para simplificar, agilizar ou aumentar a qualidade de vida do ser humano neste mundo.

8.2 Relações entre duas grandezas físicas

Em muitos eventos é possível selecionar apenas duas grandezas para análise, observando o comportamento de uma delas em função da outra. Para facilitar e organizar a análise, e a observação do comportamento destas grandezas, normalmente as medições realizadas resultam em dados dispostos em uma tabela. Outra maneira interessante de apresentar o comportamento destas grandezas físicas é sob a forma gráfica, utilizando o plano cartesiano, onde muitas vezes a relação entre as grandezas é percebida mais rapidamente, pois estes gráficos permitem uma visão mais geral do comportamento das duas grandezas físicas. O gráfico (diagrama de dispersão) permite que se visualize a forma do relacionamento entre duas variáveis, possibilitando também que se proponha alguma(s) função (ões) que reproduza(m) de forma mais ou menos aproximada o comportamento observado no gráfico.

Neste texto nos limitamos à introdução ao estudo das relações entre grandezas físicas, procurando caracterizar as relações diretamente e inversamente proporcionais, que poderão ser estendidas para outras relações mais complexas entre as grandezas físicas envolvidas.

8.3 Relações diretamente proporcionais

Para caracterizar uma relação diretamente proporcional, vamos considerar uma mola helicoidal plástica (pode ser uma espiral de encadernação) que se deforma ao equilibrar um corpo suspenso a ela. Quando o corpo atingir o equilíbrio, permanecendo em repouso, a força responsável pela deformação da mola tem o mesmo valor do peso do corpo suspenso. Variando-se o peso do corpo suspenso, pode-se sujeitar a mola a forças deformadoras diferentes. Por exemplo, no início, a mola suportava apenas um recipiente leve. Depois, foram acrescentadas diversas bolinhas a este recipiente e medidas as elongações (deformações) produzidas pelas bolinhas sobre a mola, utilizando uma régua, como mostra a Figura 23.

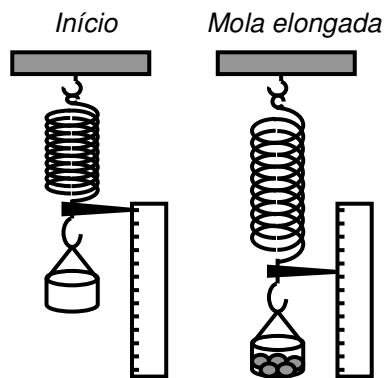


Figura 23: Mola suspensa.

A Tabela 7 apresenta os registros do experimento com a mola, relacionando o módulo do peso das bolinhas (**F**) suspensas na mola e as elongações na mola (**x**) produzidas pelas bolinhas suspensas.

Tabela 7: Peso aplicado x elongação da mola.

Módulo do peso das bolinhas (F) (gf)	Elongação da mola (x) (cm)
5,0	1,4
10,0	2,9
15,0	4,4
20,0	5,8
25,0	7,2

Analisando estes registros, é possível verificar que a **razão** determinada entre **F** e **x** em cada situação, se mantém praticamente **constante**, próxima a 3,5, isto é:

$$\frac{5,0}{1,4} \cong 3,6; \quad \frac{10,0}{2,9} \cong 3,4; \quad \frac{15,0}{4,4} \cong 3,4; \quad \frac{20,0}{5,8} \cong 3,4; \quad \frac{25,0}{7,2} \cong 3,5$$

Também é possível verificar que:

- dobrando **F** → **x** torna-se aproximadamente o dobro
- triplicando **F** → **x** torna-se aproximadamente o triplo
- quadruplicando **F** → **x** torna-se aproximadamente o quádruplo

.....
multiplicando N vezes **F** → **x** torna-se aproximadamente N vezes maior

Colocando-se os registros da Tabela 7 num plano cartesiano, onde cada par de valores gera um ponto, obteremos uma **curva** que tende a uma **reta** que passa pela **origem** dos eixos coordenados, sendo o módulo do peso das bolinhas (**F**) colocado no eixo das ordenadas (vertical) e a elongação da mola (**x**) colocado no eixo das abscissas (horizontal), como mostra a Figura 24.

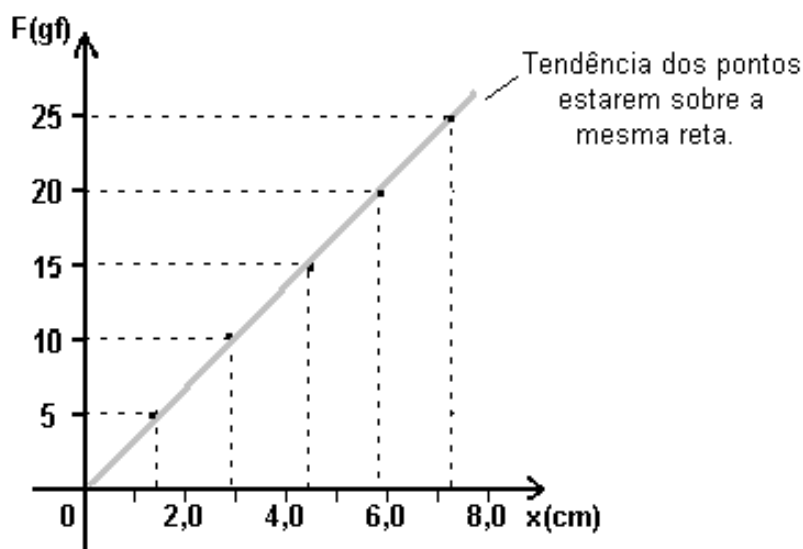


Figura 24: Gráfico de uma relação diretamente proporcional.

Neste caso podemos dizer que a elongação da mola (**x**) tende a ser **diretamente proporcional** ao módulo do peso das bolinhas (**F**), dentro dos limites apresentados, e podemos descrevê-la de forma reduzida, utilizando-se o símbolo “ α ”, isto é:

$$\frac{F}{x} \cong \text{constante} \quad \text{ou} \quad F \propto x$$

Observações:

A relação de proporcionalidade pode ser estendida procurando-se outras expressões matemáticas que tendam a esta relação, dentro de limites definidos, como o período elevado ao quadrado de um pêndulo “simples” em função do seu comprimento, desde que para pequenos ângulos de oscilação e não muito pequenos comprimentos do fio comparado ao tamanho do corpo suspenso, ou como a distância percorrida por uma esfera em função do quadrado dos tempos decorridos em sua queda livre, a pequenas alturas com altas densidades absolutas. Este *processo de linearização* pode auxiliar na observação de outras relações de proporcionalidade entre grandezas, físicas além da proporcionalidade direta.

A Figura 25 mostra um exemplo deste *processo de linearização*, procurando estabelecer, primeiro, uma relação entre o período do pêndulo “simples” (**T**) e o comprimento (**L**) do seu fio, depois entre o quadrado do seu período (**T²**) e o comprimento (**L**) do seu fio.

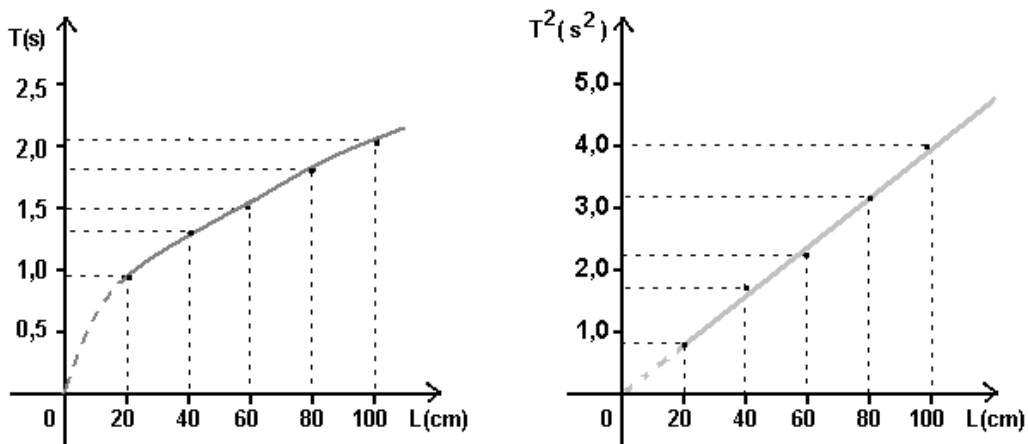


Figura 25: Linearização gráfica de uma relação quadrática (pêndulo).

8.4 Relações inversamente proporcionais

Para caracterizar uma relação inversamente proporcional, vamos considerar um objeto luminoso (uma lâmpada fluorescente de 10 cm) colocado em frente ao orifício de uma câmara escura (de profundidade 15 cm) e a conseqüente formação de sua imagem, projetada e invertida, dentro desta câmara. A Figura 26 apresenta um esquema desta formação de imagem.

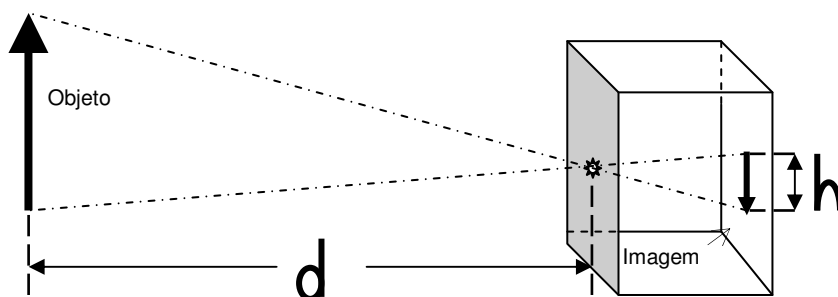


Figura 26: Imagem numa câmara escura.

Observa-se que alterando a distância do objeto (**d**) ao orifício da câmara escura, também é alterada a altura da imagem (**h**) do objeto formada nesta câmara.

A Tabela 8 apresenta os registros de um experimento semelhante realizado com uma câmara escura, relacionando a distância do objeto (**d**) ao orifício da câmara escura e a altura da imagem (**h**) do objeto formada dentro desta mesma câmara escura.

Tabela 8: Altura da imagem do objeto em função da distância do objeto ao orifício da câmara.

Distância do objeto (d) (cm)	20	30	40	60	90
Altura da imagem (h) (cm)	7,4	5,1	3,8	2,4	1,7

Analisando os registros da Tabela 8, é possível verificar que o **produto** determinado entre a distância do objeto (**d**) ao orifício da câmara e a altura imagem (**h**) do objeto em cada situação, **se mantém aproximadamente constante**, isto é:

$$\begin{array}{lll}
 20 \text{ cm} \cdot 7,4 \text{ cm} \cong 148 \text{ cm}^2 & 30 \text{ cm} \cdot 5,1 \text{ cm} \cong 153 \text{ cm}^2 & 40 \text{ cm} \cdot 3,8 \text{ cm} \cong 152 \text{ cm}^2 \\
 60 \text{ cm} \cdot 2,5 \text{ cm} \cong 150 \text{ cm}^2 & 90 \text{ cm} \cdot 1,7 \text{ cm} \cong 153 \text{ cm}^2 & \\
 \mathbf{d \cdot h \cong constante \cong 151 \text{ cm}^2} & &
 \end{array}$$

Também é possível verificar que:

- dobrando **d** → **h** torna-se aproximadamente a metade
- triplicando **d** → **h** torna-se aproximadamente um terço
- quadruplicando **d** → **h** torna-se aproximadamente um quarto

.....
multiplicando N vezes **d** → **h** torna-se aproximadamente N vezes menor

Colocando-se os registros da Tabela 8 num plano cartesiano, obteremos aproximadamente uma **curva** denominada **hipérbole**, que é assíntona aos dois eixos coordenados (se aproxima deles sem nunca cruzá-los). Sendo **h** a altura da imagem formada em cada situação colocada no eixo das ordenadas (vertical) e **d** a distância do objeto ao orifício da câmara escura colocada no eixo das abscissas (horizontal), teremos um gráfico aproximado do mostrado na Figura 27.

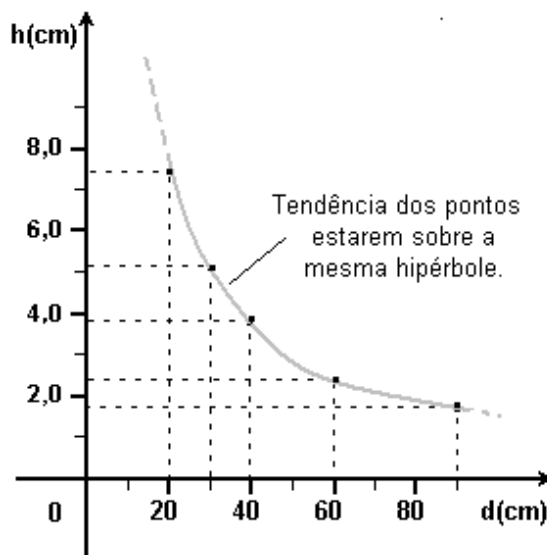


Figura 27: Gráfico de uma relação inversamente proporcional.

Neste caso podemos dizer que a altura da imagem (**h**) formada na câmara escura tende a ser **inversamente proporcional** à distância do objeto (**d**) ao orifício da câmara, e, podemos descrevê-la de forma reduzida, utilizando o símbolo “**α**”, conforme segue:

$$\mathbf{d \times h \cong constante} \quad \text{ou} \quad \mathbf{h \propto 1 / d}$$

Observações:

Uma relação inversamente proporcional entre duas grandezas físicas pode ser entendida como uma relação diretamente proporcional entre uma das grandezas físicas e o inverso da outra.

Construímos uma nova tabela, a Tabela 9, compilando os registros da primeira linha da Tabela 8 e colocando os inversos dos valores da segunda linha desta tabela ($1/h$).

Tabela 9: Inverso da altura da imagem em função da distância do objeto ao orifício da câmara.

Distância do objeto (d) (cm)	20	30	40	60	90
Inverso da altura da imagem ($1/h$) (1 /cm)	0,14	0,20	0,26	0,42	0,59

Colocando-se os registros da Tabela 9 num plano cartesiano, obteremos aproximadamente uma **reta inclinada** que tende a passar pela **origem** dos eixos coordenados. Neste plano cartesiano, o inverso da altura da imagem ($1/h$) é colocado no eixo das abscissas e, a distância do objeto (d) ao orifício da câmara é colocada no eixo das ordenadas, como mostra a Figura 28.

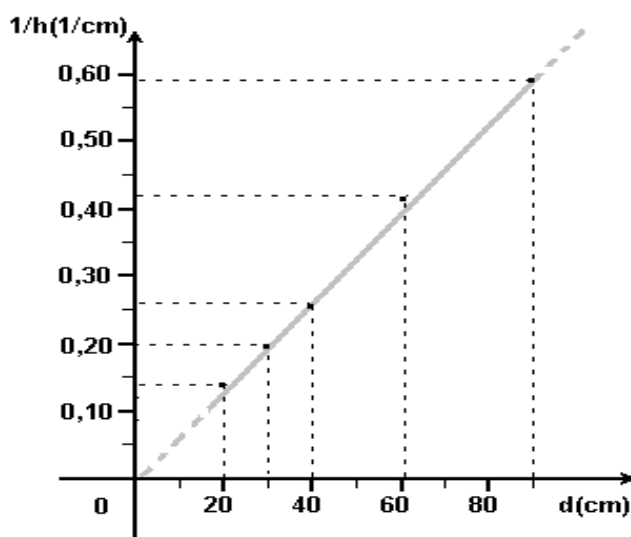


Figura 28: Gráfico de uma relação diretamente proporcional.

8.5 Grandezas físicas independententes

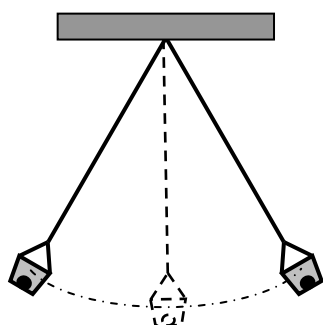


Figura 29: Pêndulo usado.

Para caracterizar a inexistência de relação entre duas grandezas físicas, vamos considerar que um pêndulo tenha a sua massa alterada diversas vezes, alterando-se o número de bolinhas contidas num pequeno copo suspenso por um fio, sem alterar o seu comprimento e a sua amplitude de oscilação. Em cada uma destas vezes, foram medidos o período de oscilação e a massa do pêndulo, utilizando-se um cronômetro digital e uma balança de prato para isto. Veja a Figura 29.

A Tabela 10 apresenta os registros do experimento, relacionando a massa do pêndulo (**m**) e o respectivo período de oscilação (**T**).

Tabela 10: Período de oscilação do pêndulo em função de sua massa.

Massa do pêndulo m (g)	5	10	15	20	25
Período do Pêndulo T (s)	1,48	1,47	1,48	1,48	1,49

Analisando estes registros, é possível verificar que **período** de oscilação do pêndulo (**T**) se mantém praticamente **constante**, não se alterando (significativamente) com a alteração significativa de sua massa (**m**) em cada situação.

Colocando-se os registros da Tabela 10 num plano cartesiano, obteremos os pontos praticamente perfilados uma mesma **reta**, que é paralela ao eixo das ordenadas, quando o **período** de oscilação do pêndulo (**T**) é colocado no eixo das ordenadas e a massa do pêndulo (**m**), em cada situação, é colocada no eixo das abscissas, como mostra a Figura 30.

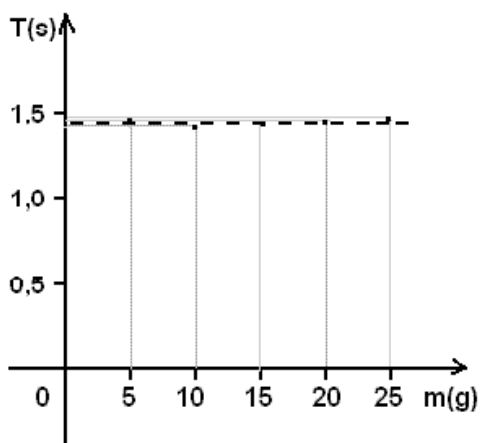


Figura 30: Gráfico de duas grandezas independentes.

9 - Noções sobre o método de ajuste de funções

9.1 Introdução

Em atividades experimentais é comum a coleta de um conjunto de dados em uma tabela de pares ordenados que posteriormente são sintetizados em uma expressão matemática (função) capaz de descrever a relação entre as variáveis estudadas experimentalmente. O primeiro problema é escolher a função que relaciona as variáveis investigadas. Para tanto, leva-se em conta o conhecimento teórico que se tem sobre o sistema em estudo. Escolhida uma função, (por exemplo, uma função linear), busca-se a seguir a determinação dos parâmetros da função (no caso da função linear o coeficiente angular e o coeficiente linear). Este procedimento é conhecido como **ajustamento de funções** ao conjunto de dados ou método de regressão.

Existem muitos **métodos de ajustamento** de funções que podem ser utilizados para a determinação dos parâmetros da função de ajustamento. Discutiremos o **Método dos Mínimos Quadrados** que, além de ser consagrado como um método de ajuste, possuindo solução analítica para funções lineares nos parâmetros, pode ser facilmente realizado com auxílio de uma planilha eletrônica como, por exemplo, uma planilha Excel.

9.2 Ajuste linear através do Método dos Mínimos Quadrados

O **Método dos Mínimos Quadrados** é uma técnica de otimização matemática que procura encontrar o melhor ajustamento para um conjunto de dados experimentais (isto é, encontrar os parâmetros de uma específica função de ajustamento), minimizando o *somatório dos quadrados dos resíduos*. (Resíduo é a diferença entre o valor obtido experimentalmente e o valor estimado pela equação de ajustamento ou de *regressão*.) (SILVEIRA; OSTERMANN, 2002).

Um *requisito implícito* para o *método dos mínimos quadrados* funcionar é que os *erros* em cada medida sejam *distribuídos aleatoriamente* com *função densidade gaussiana*, e que os resíduos sejam *independentes*. O *Teorema Gauss-Markov* garante (embora indiretamente) que o *estimador de mínimos quadrados EMQ* é o estimador *não-enviesado* da *variância mínima linear* na variável resposta. (WIKIPEDIA, 2008b).

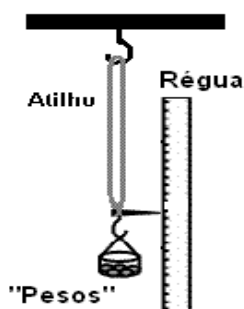


Figura 31: Experimento do atilho.

Visando evitar o formalismo matemático, preferimos exemplificar o uso prático deste método no caso linear. O método é generalizável para outras funções de ajustamento ou outras linhas de tendência.

Utilizaremos os dados coletados no “esticar” de um “atilho de borracha” (muito utilizado para prender dinheiro). O experimento constitui-se em estudar como varia o comprimento do atilho em função da força que o deforma. Veja a Figura 31.

Partindo da tabela com dados obtidos no experimento do atilho, podemos iniciar o levantamento de algumas possíveis funções lineares que descrevam os resultados nela obtidos. A escolha da melhor função que se ajuste aos dados será realizada inicialmente traçando a “olho”, ou seja, com auxílio de uma régua traçar uma reta que passe por perto dos pontos experimentais, e depois determinar os parâmetros dessa reta. A medida da qualidade do ajuste da reta escolhida será a soma dos quadrados dos resíduos (**SQ**) (SILVEIRA e OSTERMANN, 2002).

A Tabela 11 apresenta os valores medidos para o comprimento do atilho (**L**) em função da intensidade da força longitudinal (**F**) aplicada nele.

Tabela 11: Comprimento do atilho em função da força aplicada.

Intensidade da força aplicada F (gf)	0	100	200	300	400	500
Comprimento do atilho L(cm)	8,0	10,0	14,0	19,0	25,0	29,0

Utilizando os dados da Tabela 11, construímos o gráfico do comprimento do atilho **L** em função da intensidade da força aplicada **F**, como mostra a Figura 32. Há razões teóricas para se admitir que **L** seja uma função linear de **F** e o gráfico da Figura 32 é razoavelmente consistente com tal pressuposto.

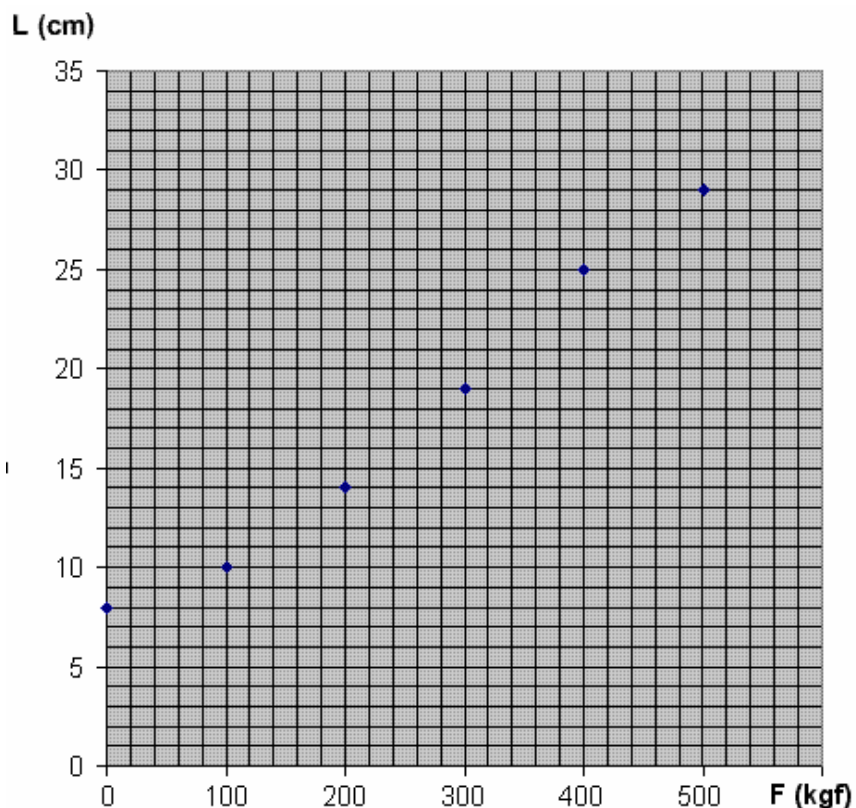


Figura 32: Gráfico do comprimento do atilho **L** em função da intensidade da força **F** aplicada nele.

Com o auxílio de uma régua, traçamos a “olho” três retas de ajuste, procurando produzir a melhor aproximação para os pontos indicados no gráfico. Todas elas se ajustam aproximadamente ao conjunto de pontos do gráfico conforme mostra a Figura 33.

Apenas para a **reta S** mostramos, passo a passo, como calcular o *coeficiente linear* (**b**), o *coeficiente angular* (**a**), a *equação reduzida* da reta traçada ($L' = a.F + b$), o *resíduo* (**r**) para cada um dos pontos desta reta e a *soma dos quadrados dos resíduos* (**SQ**). Para as **retas t** e **u** apresentamos apenas os resultados obtidos destes cálculos para estas retas.

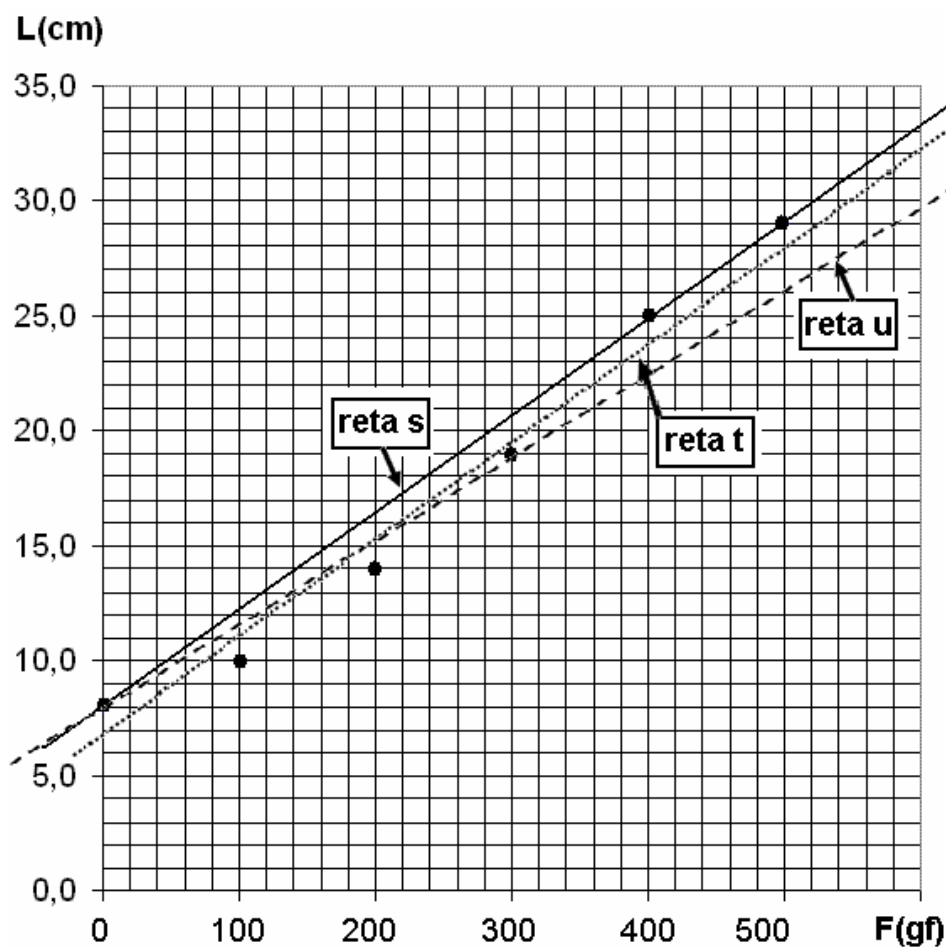


Figura 33: Gráfico das retas **S**, **t** e **u**.

Coeficiente angular da reta S: $a = (29 - 8)/500 = 0,042 \text{ cm/gf}$

Coeficiente linear da reta S: $b = 8,0 \text{ cm}$

Equação da reta S: $L'_s = 0,042.F + 8,0 \text{ cm}$

A Tabela 12 apresenta o processo de determinação de SQ para a **reta S**.

Tabela 12: SQ da reta **S**.

F (gf)	L (cm)	$L' = 0,042.F + 8,0$ (cm)	Resíduo: $r = (L - L')$	Quadrado do resíduo (r^2).
0,0	8,0	8,0	0,0	0,00
100	10,0	12,2	-2,2	4,84
200	14,0	16,4	-2,4	5,76
300	19,0	20,6	-1,6	2,56
400	25,0	24,8	0,2	0,04
500	29,0	29,0	0,0	0,00
Soma dos quadrados dos resíduos (SQ)				13,2

Para as retas **t** e **u** apresentaremos apenas os resultados obtidos, sem indicar os cálculos envolvidos.

A Tabela 13 apresenta para cada uma das retas, **s**, **t** e **u**, o *coeficiente linear* (**b**), o *coeficiente angular* (**a**), a *equação reduzida* da reta traçada ($L' = a.F + b$) e a *soma dos quadrados dos resíduos* (**SQ**).

Tabela 13: Parâmetros das retas **s**, **t** e **u**.

Parâmetros das retas	Reta S	Reta t	Reta U
Coeficiente linear (cm)	8,0	7,0	8,0
Coeficiente angular (cm/gf)	0,042	0,042	0,036
Equação reduzida ($L' = a.F + b$ cm)	$L' = 0,042.F + 8,0$ cm	$L' = 0,042.F + 7,0$ cm	$L' = 0,036.F + 8,0$ cm
Soma dos quadrados dos resíduos (SQ)	13,2	7,2	19,8

Analisando as retas traçadas, **s**, **t** e **u**, podemos verificar que todas elas parecem produzir ajuste aos resultados experimentais de qualidade semelhante. Tomando como critério de bondade do ajuste ao somatório dos quadrados dos resíduos (SQ), notamos que a **reta t** produz o **melhor ajustamento** aos resultados experimentais, em relação às outras duas, pois o valor calculado para a **reta t** resultou em **SQ = 7,2** que é menor do que os outros dois (13,2 e 19,8). Mas será que não existe alguma outra reta para a qual SQ resulte inferior a 7,2? Ou ainda, qual será a reta que leva ao mínimo o valor de SQ? A melhor resposta para estas perguntas seria que provavelmente encontraríamos outra reta para a qual SQ resultasse inferior a 7,2 se ajustando aos resultados experimentais (com qualidade semelhante), pois a nossa escolha das três retas de ajuste foi, a princípio, a “olho”, sendo que procuramos “sem grande precisão” produzir a melhor aproximação para os pontos indicados no gráfico da Figura 32. A reta que minimiza SQ é chamada de *reta dos Mínimos Quadrados* ou a *reta de regressão* (SILVEIRA e OSTERMANN, 2002).

Observações importantes:

(1ª) Quando todos os pontos estiverem sobre a reta, $SQ = 0$.

(2ª) Quando conseguirmos obter o menor valor possível para SQ (SQ_{min}), teremos determinado a chamada “reta de regressão” ou “reta dos mínimos quadrados”.

Cabe ainda ressaltar que o **método dos mínimos quadrados** pode ser generalizado para qualquer função de ajustamento, como exponenciais e polinomiais, além da função linear (nosso objetivo).

9.3 Uma representação geométrica para o Método dos Mínimos Quadrados

O resíduo r calculado para um ponto do gráfico obtido por este método representa a *diferença* entre o *valor obtido experimentalmente* e o *valor determinado pela equação de regressão*. Quando elevamos este resíduo ao quadrado (r^2), geometricamente teremos calculado a área do quadrado de lado r , sobre o plano cartesiano, para cada um dos pontos do gráfico (P1, P2, P3, P4 e P5). A Figura 34 representa estas áreas para os pontos 1, 2, 3, 4 e 5, que serão maiores quando o ajustamento é pior.

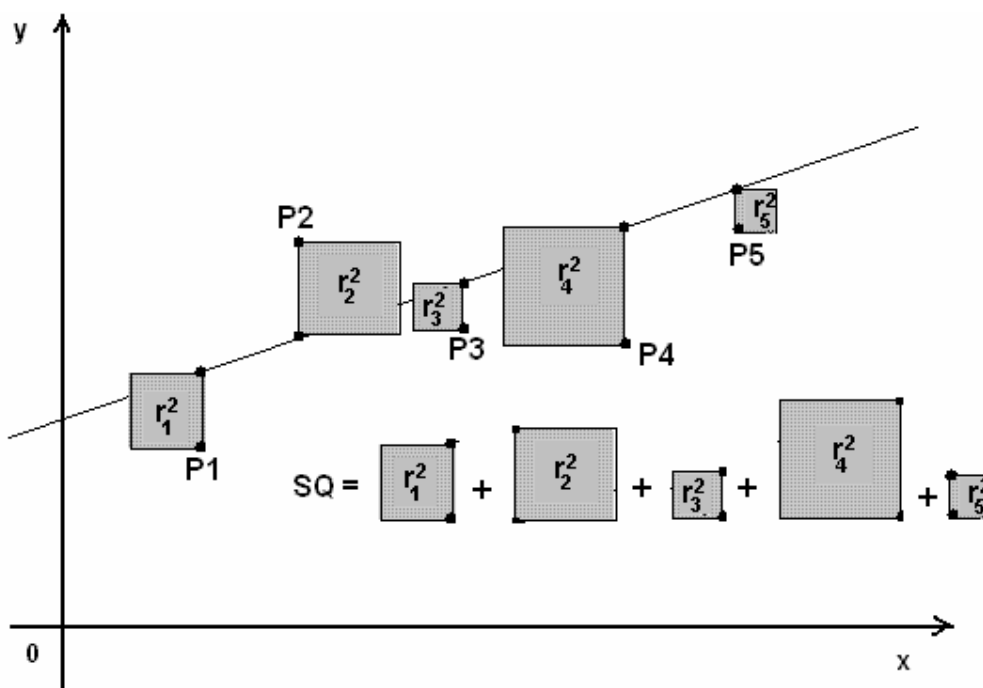


Figura 34: Áreas equivalentes aos resíduos de cada um dos pontos do gráfico.

Note que a área dos quadrados será tanto maior quanto maior for o desajuste da função escolhida. Na Figura 34 podemos observar que o ponto P3 está mais bem ajustado do que o ponto P4, pois a sua *área associada* é menor.

Para determinar a *soma dos quadrados dos resíduos* (SQ), basta somar as áreas individuais associadas aos pontos, pois esta soma é igual ao SQ.

Há na Internet uma simulação do método dos mínimos quadrados (BORTOL, 2008), envolvendo áreas, onde se pode modificar as posições dos pontos obtidos e verificar o efeito destas modificações. Esta simulação foi produzida por um professor da PUC do Rio de Janeiro, em 2002, para seus alunos de cálculo, se encontrando no seguinte site:

< <http://www.mat.puc-rio.br/~hjbortol/cdfvv/livro/CabriJava/mmq5.html> >

Acreditamos que a simulação do *método dos mínimos quadrados* mostrando as áreas associadas aos pontos é de grande valia para quem queira entender o seu funcionamento prático. A Figura 35 mostra o gráfico interativo da janela aberta neste site na Internet.

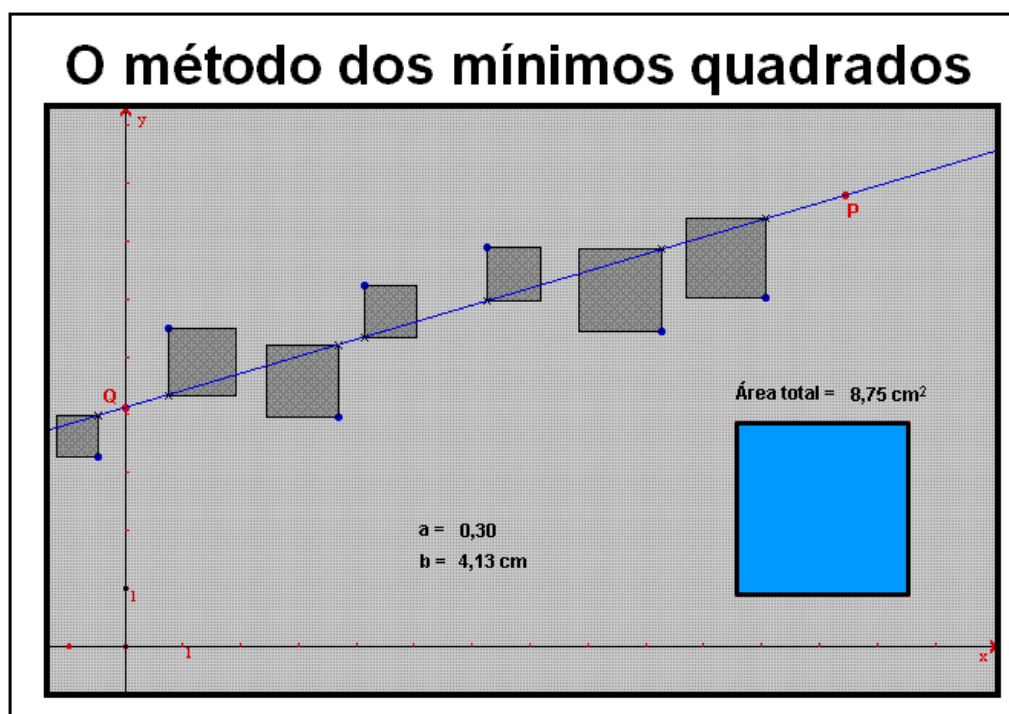


Figura 35: Janela do gráfico interativo do *método dos mínimos quadrados*.

9.4 Usando o Excel para ajustar os parâmetros de uma função escolhida

Com auxílio de qualquer planilha eletrônica pode-se calcular o valor da soma dos quadrados dos resíduos de uma função de ajustamento, como exemplificado na Tabela 12. A questão é: qual o menor valor possível para o ajustamento dessa função aos dados experimentais? No exemplo do atilho foram traçadas “a olho” três retas e verificamos que a reta **t** é a que apresenta menor valor para SQ. Mas não haveria outra com SQ ainda menor? Como determiná-la? Uma possibilidade, não recomendada, é o método de tentativa-e-erro, no qual se variaria os valores atribuídos aos parâmetros **a** e **b**, controlando o valor que cada par de parâmetros fornece para SQ, até que se determine o menor valor de SQ. Esse método é tanto mais tedioso e impreciso, quanto maior o

número de parâmetros. Outra alternativa, pela qual optamos, é se valer de algum *software*, por exemplo, a planilha Excel, na qual se pode proceder ao ajustamento de diversas funções a um conjunto de pontos pelo Método dos Mínimos Quadrados usando a chamada **Linha de tendência**⁶.

A Figura 36 ilustra as funções passíveis de serem ajustadas com o Excel (Office 2007).

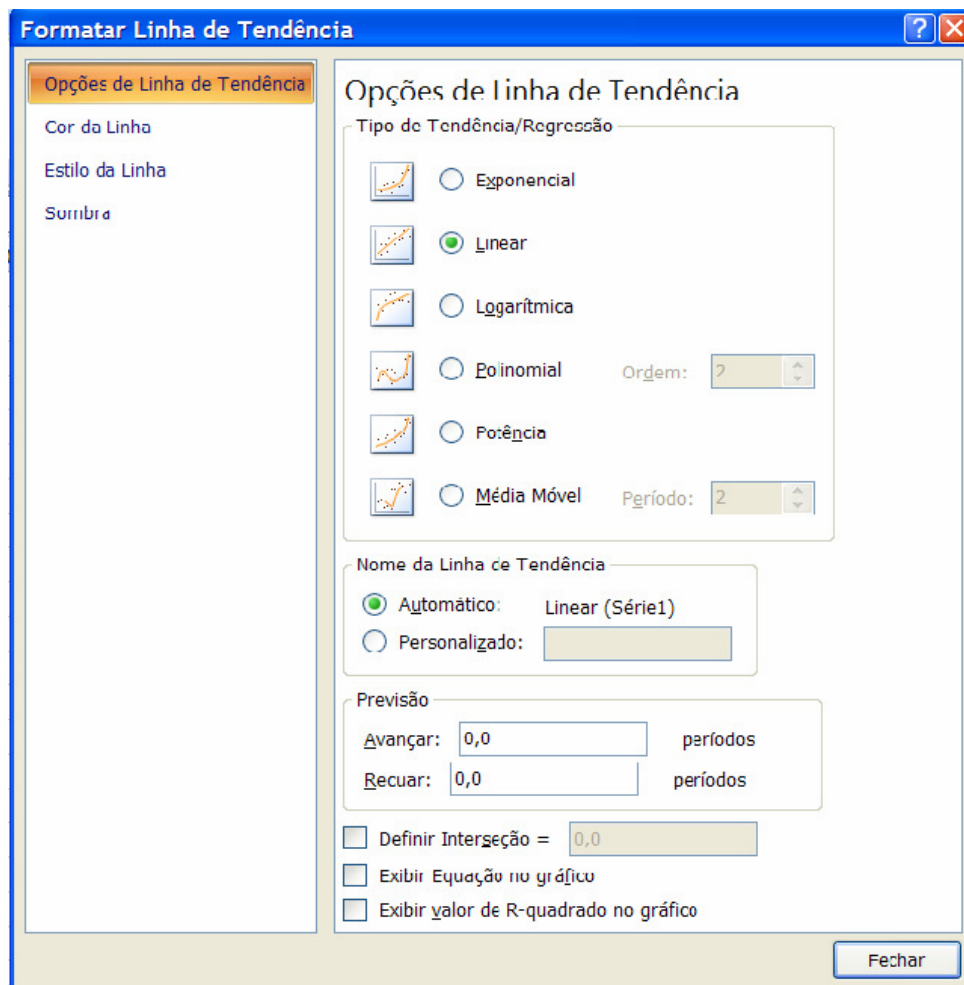


Figura 36: Janela que ilustra as funções passíveis de serem ajustadas com o Excel.

Além de mostrar **a tendência de comportamento dos pontos discretos obtidos (função) o Excel apresenta o coeficiente de determinação R^2** , que indica o grau de precisão do ajustamento da curva. Quanto mais próximo de **1,0** o valor de R^2 , melhor o grau de relação estabelecido entre as grandezas; quanto maior R^2 tanto melhor a função escolhida reproduz os valores experimentais (SILVEIRA; OSTERMANN, 2002).

Voltemos ao exemplo do atilho. Na Figura 37 vê-se um gráfico de dispersão, produzido pelo Excel para os dados da Tabela 11, onde foi adicionada a **linha de tendência**⁷. O Excel fornece os parâmetros de ajuste linear (**a** = 0,0443 e **b** = 6,43) e também o valor de R^2 ($R^2 =$

⁶ Caso a **função de ajuste** escolhida não coincida com nenhuma das opções do Excel, pode-se usar o Método dos Mínimos Quadrados conforme descrito na seção 9.2 e usar a função **Solver** do Excel para minimizar o erro.

⁷ Para introduzir a linha de tendência basta optar por Adicionar linha tendência no menu fornecido quando estando o cursor sobre uma série de dados mostrados no gráfico se clica com o botão esquerdo do *mouse* para selecionar os dados e com o direito para fazer aparecer o menu de opções.

0,982) Essa curva corresponde **ao melhor ajustamento linear** aos dados, de acordo com o método dos mínimos quadrados, ou seja, a função linear que fornece o **menor valor de SQ**.

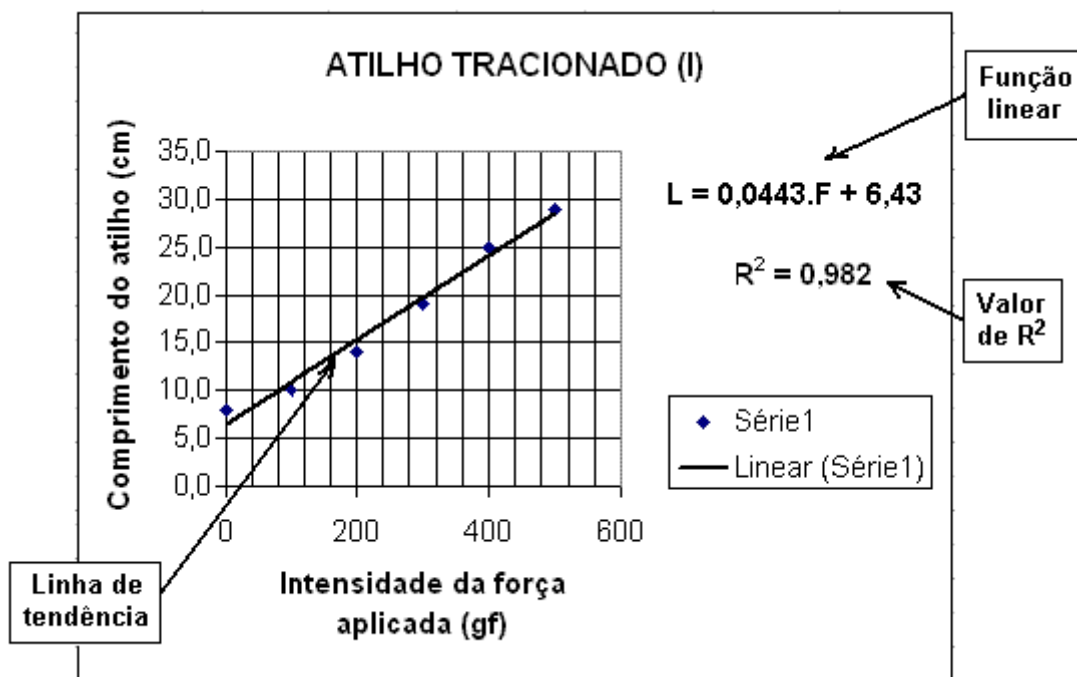


Figura 37: Gráfico com linha de tendência para uma função linear.

Calculando-se o valor de **SQ** para a reta **L**, determinada pelo Excel, com o mesmo processo utilizado na Tabela 12, resulta em **SQ** \cong **6,29**, que é, aproximadamente, o **menor valor de SQ** para a função deste conjunto de dados. Em resumo, a melhor curva de ajuste linear para os dados da Tabela 11 é dada por **L = 0,0443 . x + 6,43** (*reta de regressão*).

9.5 A escolha de uma curva de ajuste aos dados

A escolha de uma função que descreve os dados não é uma tarefa possível sem levar em conta alguns pressupostos teóricos. Por exemplo, consideremos novamente o problema do atilho tracionado, cujos dados foram ajustados com uma função linear usando o método dos mínimos quadrados, resultando em $R^2 = 0,982$. Ajustes melhores poderiam ser obtidos usando outras formas funcionais. Por exemplo, nas Figuras 38 e 39 são mostrados os ajustes dos dados da Tabela 11 com uma função exponencial e polinomial de segundo grau, sendo $R^2 = 0,990$ e $R^2 = 0,993$, respectivamente. Ambos os ajustes são melhores do que o linear, porém os resultados experimentais não permitem rejeitar o modelo usual para sistemas elásticos, qual seja, o de que a Lei de Hooke (função linear de ajustamento) constitui-se em uma descrição razoável. A opção por alguma outra função de ajustamento, como por exemplo, a função do segundo grau (caso efetivamente houvesse um incremento importante em R^2), obrigaria também a interpretar teoricamente o significado dos parâmetros dessa função.

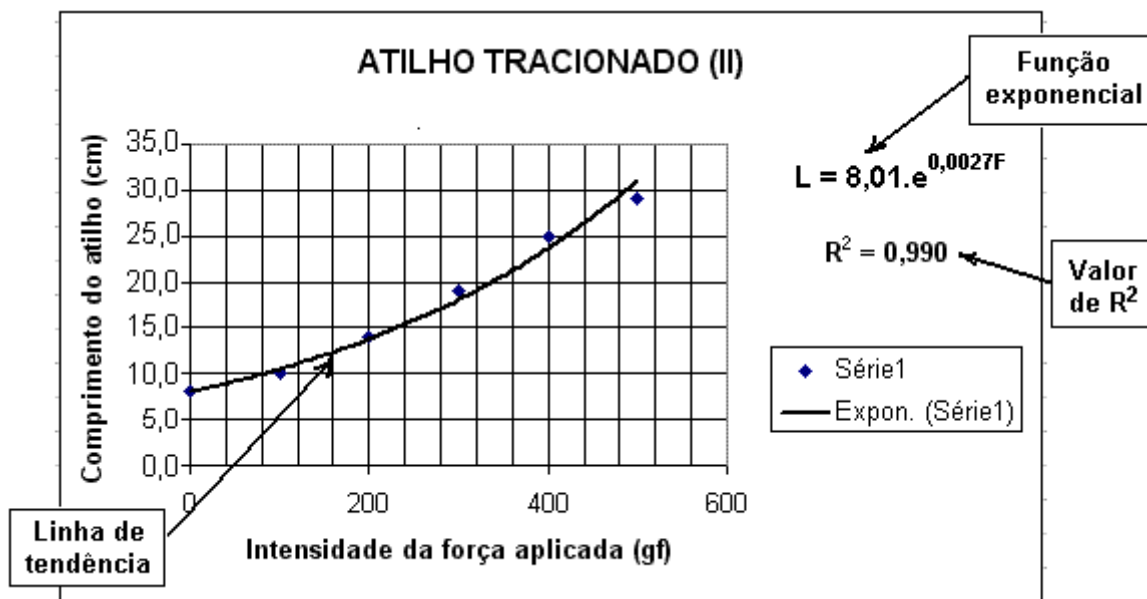


Figura 38: Gráfico com linha de tendência exponencial.

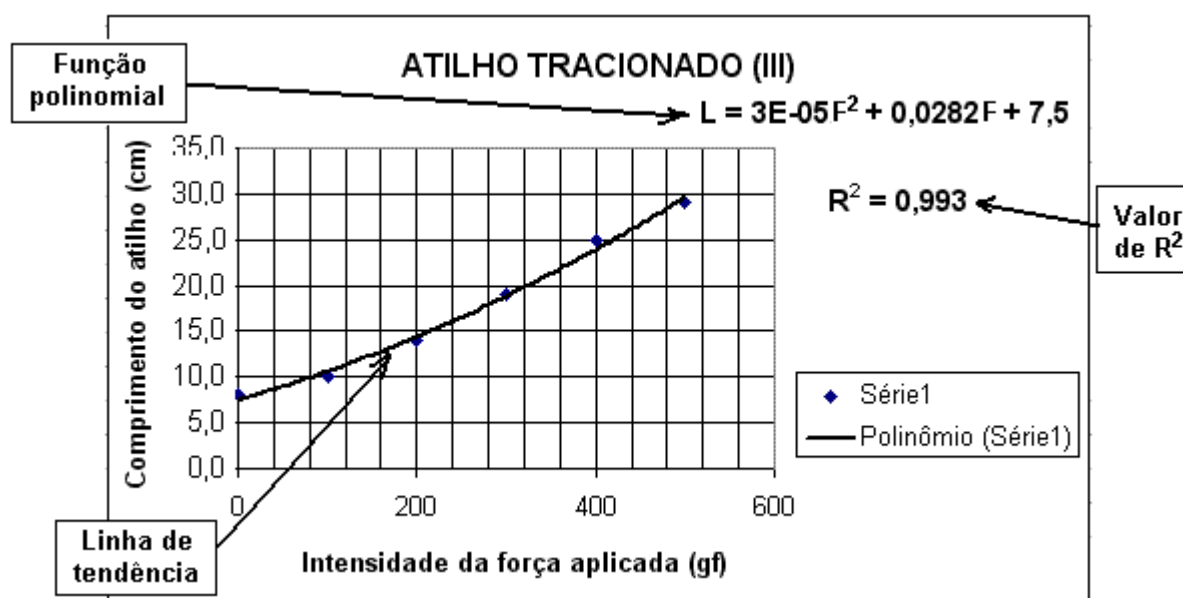


Figura 39: Gráfico com linha de tendência polinomial de segundo grau.

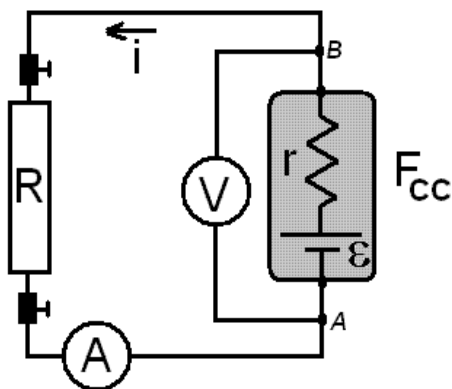
A possibilidade de se ajustar facilmente muitas funções diferentes ao mesmo conjunto de dados propiciada pelo Excel (ou por outro pacote especializado em ajuste ou regressão) pode fomentar uma atitude equivocada, consistente com a concepção empirista-indutivista que pretende ser possível "descobrir a lei a partir de resultados experimentais": entre todas as curvas ajustadas, escolhe-se a que apresente a melhor qualidade do ajuste, isto é, a que tenha o maior coeficiente de determinação (R -quadrado). Do ponto de vista estritamente formal matemático, essa atitude é equivocada porque não precisamos calcular o R -quadrado para um polinômio de grau n para saber que ele será no mínimo igual a de qualquer outro polinômio de grau inferior a n (SILVEIRA; OSTERMANN, 2002). Sabemos também que existe uma tendência de aumentar R -quadrado quando se aumenta o número de parâmetros na função de ajustamento. Silveira e Ostermann (2002) afirmam

"que a decisão por uma função de ajustamento transcende os resultados experimentais, envolvendo considerações teóricas". Os dados experimentais não impõem "uma lei" de maneira unívoca, pois existe um número virtualmente infinito de funções que os descrevem de maneira semelhante (isto é, com coeficientes de determinação semelhantes). Desta forma a decisão pela função de ajustamento não pode ser resolvida apenas por critérios matemáticos ou estritamente formais. Essa decisão sempre deverá levar em conta os pressupostos teóricos relativos ao comportamento das variáveis investigadas, isto é, envolverá considerações que ultrapassam os dados experimentais. No nosso exemplo as três funções de ajustamento, apesar de apresentarem R^2 diferentes, se adéquam muito bem aos resultados experimentais. Sabemos também que existem muitas outras funções que aderem aos dados de maneira semelhante apesar de termos ajustado apenas essas três. Entretanto, optamos por um ajuste linear porque ele descreve satisfatoriamente os dados e as interpretações físicas dos parâmetros é fácil de ser realizada.

9.6 Exemplos de validação da escolha de uma curva de ajuste para um conjunto de dados

Nesta subseção apresentamos exemplos das idéias discutidas até agora nesta seção.

Exemplo 1



Vamos considerar uma fonte elétrica especial de corrente contínua, onde pressupomos que a força-eletromotriz (\mathcal{E}) e a resistência interna (r) dela são praticamente constantes, pois a intensidade da corrente elétrica que ela produz é muito baixa. A Figura 40 apresenta o circuito esquematizado com uma fonte elétrica (F_{cc}), uma resistência elétrica externa (R), um voltímetro (V), com escala 0-20 V DC, para medir a d.d.p. entre os terminais da fonte ($V_{B,A}$), e um amperímetro (A), com escala 0-20 mA DC, para medir a intensidade da corrente (i) produzida pela fonte.

Figura 40: Circuito esquematizado.

Neste experimento altera-se a resistência externa (R) do circuito substituindo-se R por resistores com diferentes resistências elétricas, enquanto são medidas simultaneamente a d.d.p. estabelecida entre os terminais da fonte ($V_{B,A}$) e a intensidade da corrente elétrica (i) produzida pela fonte F_{cc} . A Tabela 14 apresenta os valores das d.d.p. entre os terminais da fonte ($V_{B,A}$) e as intensidades das correntes elétricas (i) medidas para diversos resistores.

A conhecida "equação do gerador" relaciona a diferença de potencial elétrico entre os terminais do gerador com a intensidade da corrente elétrica que ele produz. Abaixo está a "equação do gerador".

$$V_{B,A} = \mathcal{E} - r \cdot i$$

Tabela 14: D.d.p. entre os terminais da fonte ($V_{B,A}$) em função das intensidades das correntes elétricas (i) medidas para diversos resistores.

$V_{B,A}$ (V)	0,00	0,08	0,14	0,28	0,50	0,61	0,72	0,84	0,93	1,12	1,24	1,30	1,39	1,44	1,55
i (mA)	0,84	0,80	0,76	0,68	0,56	0,51	0,45	0,39	0,33	0,23	0,15	0,13	0,09	0,05	0,00

Se nesta equação \mathcal{E} e r não dependerem da corrente elétrica (suposição assumida de maneira tácita e acrítica em muitos textos de Física Geral), a variação de $V_{B,A}$ com i é linear. Ora, do ponto de vista teórico esperamos tal comportamento tendo em vista que esta fonte (uma pilha convencional com força eletromotriz nominal de 1,5 V e uma resistência interna de alguns quilohms em série) pode gerar somente pequenas correntes elétricas, inferiores a miliampères.

Podemos testar nosso pressuposto construindo o diagrama de dispersão de $V_{B,A}$ contra i , mostrado na Figura 41.

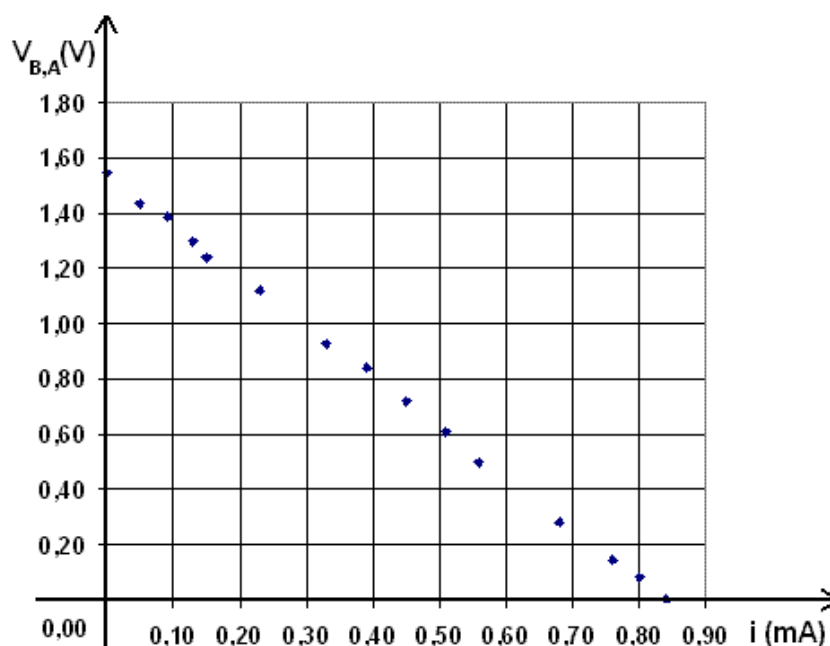


Figura 41: Diagrama de dispersão de $V_{B,A}$ contra i .

A Figura 41 é razoavelmente consistente com o pressuposto de linearidade entre as duas grandezas, pois os pontos parecem se distribuir muito próximos de uma reta.

Na Figura 42 vê-se um diagrama de dispersão e a reta de ajustamento de $V_{B,A}$ contra i , produzido pelo Excel, para os dados da Tabela 14. Vêm-se ainda os parâmetros de ajuste e também o valor de R^2 ($= 0,999$). Essa reta, como já foi visto anteriormente, corresponde **ao melhor ajustamento linear** ao conjunto de dados do experimento, de acordo com o método dos mínimos quadrados, ou seja, a função linear que fornece o **menor valor de SQ**.

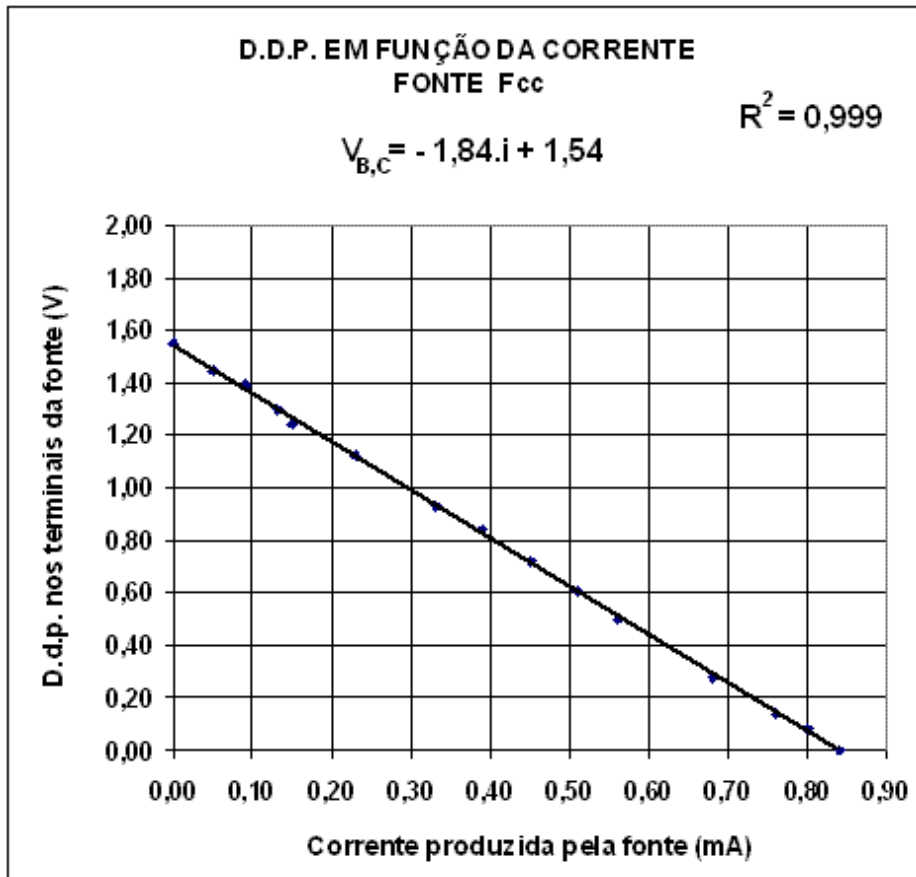


Figura 42: Diagrama de dispersão e reta de ajustamento de $V_{B,A}$ contra i , produzido pelo Excel para os dados da Tabela 14.

Os parâmetros da função linear de ajustamento são facilmente identificados se a compararmos com a “equação do gerador”. Ou seja, esta fonte tem força eletromotriz de aproximadamente 1,54 V e resistência interna de 1,84 kΩ.

Polinômios de grau superior (por exemplo, uma função quadrática) aderirão aos pontos experimentais tão bem ou melhor do que a reta. Entretanto como o ajuste linear satisfaz plenamente nossos pressupostos teóricos e apresenta valor de R^2 muito próximo a 1, não há razão para se avaliar outra função de ajustamento.

Exemplo 2

Para este exemplo de ajuste de funções, vamos considerar a mesma fonte do **Exemplo 1**.

Se a “equação do gerador” é multiplicada por i (intensidade da corrente) obtemos o seguinte resultado:

$$V_{B,A}.i = \varepsilon.i - r.i^2$$

O produto da diferença de potencial elétrico entre os terminais da fonte pela intensidade da corrente elétrica é a potência elétrica de saída ou potência elétrica útil da fonte ($P_{\text{ÚTIL}}$). Portanto:

$$P_{\text{ÚTIL}} = \epsilon \cdot i - r \cdot i^2$$

A partir dos dados da Tabela 14 vamos calcular a potência elétrica de saída ($P_{\text{ÚTIL}}$) da fonte, para cada um dos valores de i , multiplicando $V_{B,A}$ por i . Esses resultados se encontram na Tabela 15.

Tabela 15: Potência $P_{\text{ÚTIL}}$ em função da intensidade da corrente i produzida pela fonte.

$(P_{\text{ÚTIL}})$ (mW)	0,00	0,06	0,11	0,19	0,28	0,31	0,32	0,33	0,31	0,26	0,19	0,17	0,13	0,07	0,00
i (mA)	0,84	0,80	0,76	0,68	0,56	0,51	0,45	0,39	0,33	0,23	0,15	0,13	0,09	0,06	0,00

Se novamente assumirmos que a força eletromotriz e a resistência interna da fonte não dependem da intensidade da corrente elétrica, então a potência útil se relaciona com a intensidade da corrente de acordo com uma equação do segundo grau.

A partir dos dados da Tabela 15 podemos construir um diagrama de dispersão que representa a potência de saída da fonte ($P_{\text{ÚTIL}}$) em função da intensidade da corrente elétrica (i) produzida por ela, como mostra a Figura 43.

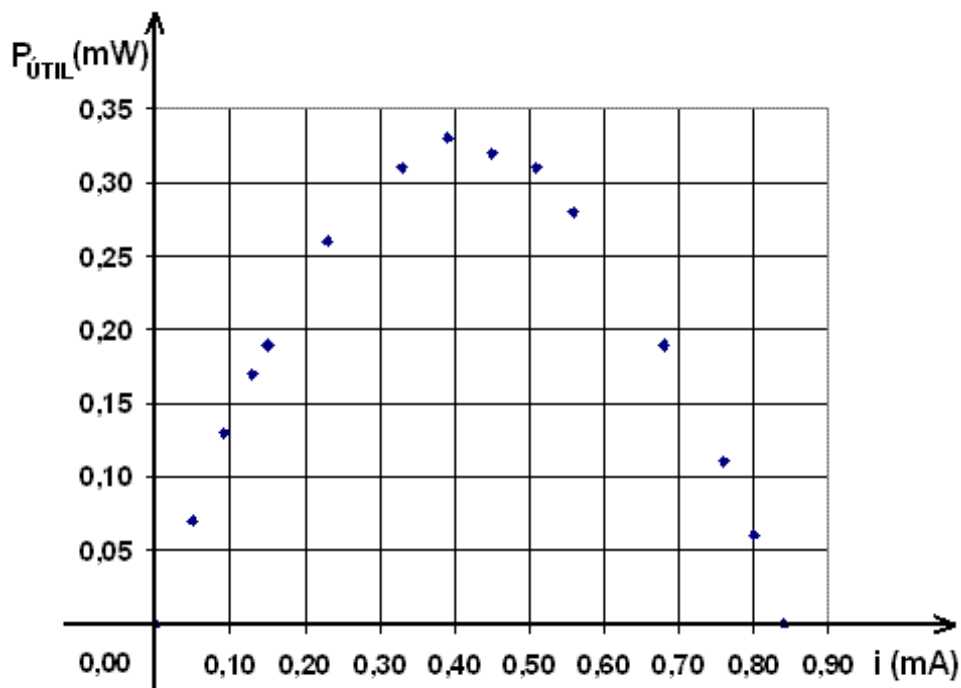


Figura 43: Diagrama de dispersão da potência $P_{\text{ÚTIL}}$ em função da corrente elétrica i , produzida pela fonte.

A inspeção visual do diagrama de dispersão nos leva a sustentar o pressuposto teórico de uma relação parabólica entre as duas grandezas e, portanto, um ajustamento polinomial de grau 2 (quadrático), sem termo independente (pois quando a corrente é nula não há potência de saída), é a nossa escolha para descrever o que vemos na Figura 43.

Na Figura 44 vê-se um diagrama de dispersão e a parábola de ajustamento da potência $P_{\text{ÚTIL}}$ em função da corrente elétrica i produzida pela fonte, produzido pelo Excel para os dados da Tabela 15. Vêm-se ainda os parâmetros de ajuste e também o valor de R^2 ($= 0,999$). Essa curva, como já foi visto anteriormente, corresponde **ao melhor ajustamento polinomial de grau (quadrático)** ao conjunto de dados do experimento, de acordo com o método dos mínimos quadrados, ou seja, a função polinomial de grau 2 que fornece o **menor valor de SQ**.

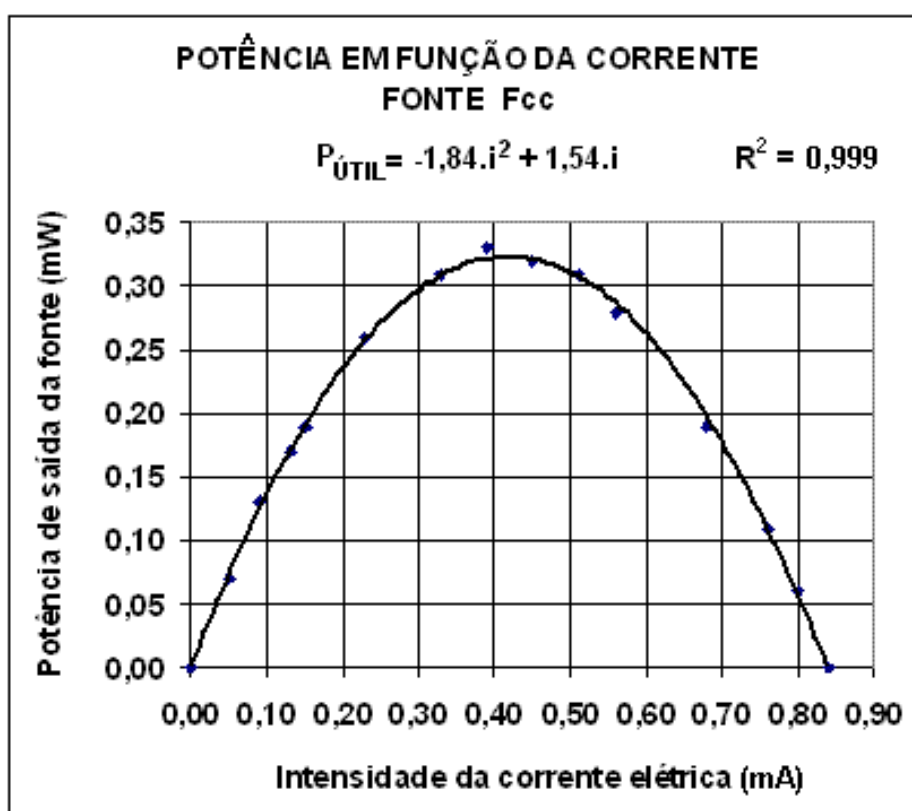


Figura 44: Diagrama de dispersão e parábola de ajustamento da potência $P_{\text{ÚTIL}}$ em função da corrente elétrica i produzida pela fonte, produzido pelo Excel para os dados da Tabela 15.

Os parâmetros, obtidos pelo método dos mínimos quadrados, para a função de ajustamento apresentada na figura 44 são, respectivamente, a força eletromotriz da fonte, de aproximadamente 1,54 V, e a resistência interna, aproximadamente 1,84 $k\Omega$.

A qualidade do ajuste quadrático está quantificada em $R^2 = 0,999$, que significa uma ótima aderência da função de segundo grau aos pontos experimentais. Sabemos que polinômios de ordem

superior a dois apresentarão um ajuste tão bom ou melhor do que este; entretanto não temos razões teóricas para optarmos por qualquer outra função de ajustamento.

10 – Comentários finais e conclusão

Neste **texto de apoio ao professor de Física** apresentamos um conjunto de textos instrucionais com conceitos, definições, informações e relações que embasam e permeiam o assunto **medição na Física**, por nós redigidos, para tentar sanar parte das lacunas conceituais de Física ocorridas no ensino fundamental, tanto na disciplina de Ciências como na de Matemática e Física.

As atividades experimentais, reais ou virtuais, desenvolvidas para alunos de nível médio sobre estes assuntos, excluindo-se o ajuste de funções, estão descritas na seção 4 (Produto Educacional) e impressas no Apêndice B (Guias de Atividades) da dissertação de mestrado **Um olhar sobre medidas em Física** realizada por César Augusto Steffens, sob a orientação da Profa. Dra. Eliane Angela Veit e co-orientação do Prof. Dr. Fernando Lang da Silveira, que pode ser encontrada nos Trabalhos de Conclusão do Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRGS, sob o número 39, no seguinte endereço:

< <http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/index.php> >.

Esperamos que com motivação e interesse o professor tenha condições de aproveitar todo ou partes deste material instrucional, reproduzindo-o ou estendendo-o, propondo novas alternativas adaptadas às condições de trabalho e suas próprias características pessoais e pedagógicas, encontrando satisfação e entusiasmo, que para nós são indispensáveis num trabalho pedagógico.

Um bom trabalho começa com boa vontade...

Referências

- ARAUJO, I.S. *Açdados*. Disponível em: < <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/ives.html> > Acesso em: 02 jul. 2008. *Software* para leitura das entradas da porta de jogos.
- BORTOL, H.J. O método dos mínimos quadrados. 2006. Disponível em: < <http://www.mat.puc-rio.br/~hjbortol/cdfvv/livro/CabriJava/mmq5.html> >. Acesso em 12 ago. 2008.
- FÍSICA BÁSICA “A”. *Ordem de grandeza*. Textos diversos 4. Física. Seção de ensino C. Colégio Militar de Porto Alegre. Disponível em: < http://www.cmpa.tche.br/educacional/secoes_ensino/site_sec_C/arquivos%20e%20Links/F%EDsica/textos_diversos_4.doc>. Acesso em 02.jul.2008.
- GASPAR, A. *Física*: volume único. São Paulo: Ática, 2001. 496 p.
- HAAG, R. Utilizado 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, 2001. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_176.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2008.
- INMETRO. *SISTEMA Internacional de Unidades - SI*. 8. ed. (revisada) Rio de Janeiro, 2007. 114 p. Disponível em: < http://www.inmetro.gov.br/consumidor/Resumo_SI.pdf > Acesso em: 02 jul. 2008.
- MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. *Física: volume único (Curso completo)*. São Paulo: Scipione, 1997. 670 p.
- PAULI, R. et al. *Ferramentas Matemáticas Para o Estudo da Física*. São Paulo: E.P.U., 1978. 62 p.
- PAULI, R; MAUAD, F. C.; SIMÃO, C. *Física Básica; mecânica*. São Paulo: EPU, 1979. 300 p.
- PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE – PSSC. *Física: parte 1*. Rio de Janeiro: Editora Universidade de Brasília, 1963. 230 p.
- SILVA, L. F.; VEIT, E. A. *O Microcomputador Como Instrumento de Medida no Laboratório Didático de Física*. Porto Alegre: IFUFRGS, Programa da Pós-Graduação em Ensino de Física, 2005.
- SILVEIRA, F. L.; OSTERMANN, F. A Insustentabilidade da Proposta Indutivista de “Descobrir a Lei a Partir dos Resultados Experimentais”. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v.19, n. especial, p. 7-27, 2002. Disponível em: < <http://www.fsc.ufsc.br/ccef/port/19-especial/index.html> >. Acesso em: 10 ago. 2008.
- SILVEIRA, F. L. Notas Sobre Algumas Estatísticas Utilizadas na Síntese de Resultados Experimentais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v.9, n.1, p. 27-37, 1992. Disponível em: < <http://www.fsc.ufsc.br/ccef/port/09-1/index.html> >. Acesso em: 08 ago. 2008.
- VEIT, E. A. et al. *Novas Tecnologias no Ensino de Física*. Disponível em: < <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/index.html> > Acesso em: 02 jul. 2008.
- ARREDONDAMENTO. In.: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. 2008a. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Arredondamento> >. Acesso em: 02 jul. 2008.
- METODO dos Mínimos Quadrados. In.: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. 2008b. Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_dos_m%C3%ADnimos_quadrados >. Acesso em: 11 ago. 2008.

ANEXO

Neste anexo reproduzimos o artigo do Dr. Prof. Fernando Lang da Silveira onde ele aborda o assunto da filosofia da ciência, publicado na revista *Em Aberto* (INEP), número 55, ano 11, de jul./set. de 1992, pp. 36-41, com o título A FILOSOFIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS, visando complementar a discussão sobre a visão epistemológica moderna abordada neste Texto de Apoio ao Professor de Física. Este artigo também está disponível, em versão pdf, no endereço abaixo (acesso em 24.11.2008): < <http://emaberto.inep.gov.br/index.php/emaberto/article/viewFile/816/734> >.

A FILOSOFIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Fernando Lang da Silveira

Como é obtido o conhecimento científico? Como é validado o conhecimento científico? Há diferenças entre o conhecimento científico e o não científico? Qual é o método da ciência? Qual é o papel que a observação, a experimentação, a razão, a intuição, a criatividade têm na produção do conhecimento científico? Em que circunstâncias se dá o abandono, a substituição de uma teoria científica por outra? Esses e tantos outros problemas têm sido objetos de investigação da Filosofia da Ciência ou da Epistemologia.

Nos últimos anos, tem sido contundentemente notada a necessidade de a educação científica, em especial o ensino das ciências naturais (Física, Química, Biologia, etc.), procurar na Filosofia da Ciência uma fundamentação sólida e atualizada (Cawthron e Rowell, 1978; Hodson, 1985; Nussbaum, 1989; Martin e Brower, 1990; Gil Perez e Carrascosa, 1985; Cleminson, 1990; Burbules e Linn, 1991; Segura, 1991).

Sempre há uma concepção epistemológica subjacente a qualquer situação de ensino (Hodson, 1985), nem sempre explicitada e muitas vezes assumida tácita e acriticamente. Uma análise dos textos de Ciências na escola é capaz de revelar a concepção epistemológica subjacente que é, de maneira quase exclusiva, o chamado empirismo-indutivismo (Cawthron e Rowell, 1978; Hodson, 1985; Silveira, 1989). As teses mais importantes desta epistemologia são as seguintes:

1 - A observação é a fonte e a função do conhecimento. Todo o conhecimento deriva direta ou indiretamente da experiência sensível (sensações e percepções).

2 - O conhecimento científico é obtido dos fenômenos (aquilo que se observa), aplicando-se as regras do método científico. O conhecimento constitui-se em uma síntese indutiva do observado, do experimentado.

3 - A especulação, a imaginação, a intuição, a criatividade não devem desempenhar qualquer papel na obtenção do conhecimento científico.

4 - As teorias científicas não são criadas, inventadas ou construídas, mas descobertas em conjuntos de dados empíricos. A ciência é neutra, livre de pressupostos ou preconceitos.

As citações abaixo exemplificam a adoção da epistemologia empirista-indutivista em livros-texto comumente utilizados:

“Tudo o que sabemos a respeito do mundo físico e sobre os princípios que governam o seu comportamento foi aprendido de observações dos fenômenos da natureza” (Sears et al., 1983, p.3).

“As leis da Física são generalizações de observações e de resultados experimentais” (Tipler, 1978, p.3).

“A Física, como ciência natural, parte de dados experimentais (...) através de um processo indutivo, formular leis fenomenológicas, ou seja, obtidas diretamente dos fenômenos observados,...” (Nussenzveig, 1981, p.5).

A aplicação das teses empiristas-indutivistas pode ser encontrada em determinados roteiros de laboratório (conjunto de instruções que tem o objetivo de guiar os alunos em atividades experimentais, de laboratório). São usuais propostas que seguem o seguinte caminho: a) instruções no sentido de, dadas duas variáveis, experimentalmente manipular uma delas e observar como a outra se comporta; b) coletar medidas de ambas as variáveis para diversos valores da variável manipulada e organizar uma tabela de dupla entrada; c) lançar esses resultados experimentais em um sistema de eixos cartesianos, obtendo-se um conjunto de pontos no plano; d) descobrir a função que descreve esses resultados (a lei que rege o fenômeno observado). Note-se que o último item traz implicitamente a idéia de que um conjunto de resultados experimentais impõe uma única função capaz de descrever a relação entre as duas variáveis; desta forma caberia ao experimentador apenas descobrir a lei que está implícita nos dados, ou seja, induzir a lei a partir do fenômeno⁸.

A chamada "aprendizagem por descoberta", que acentua o valor motivacional da experimentação, é um importante exemplo da aplicação das teses empiristas-indutivistas ao ensino de Ciências. Esta proposta tem como suposto essencial que a observação e a experimentação bem conduzidas proporcionam a base segura da qual o conhecimento é obtido. A "aprendizagem por descoberta" tem a pretensão de tornar o aluno mais ativo; entretanto esta atividade é entendida como despender mais tempo no laboratório fazendo observações. A formação de conceitos é considerada uma decorrência de observações bem conduzidas, subestimando desta forma as dificuldades da aprendizagem (Cleminson, 1990).

O ensino, quando orientado pela epistemologia empirista-indutivista, desvaloriza a criatividade do trabalho científico e leva os alunos a tomarem o conhecimento científico como um corpo de verdades questionáveis, introduzindo rigidez e intolerância em relação a opiniões diferentes (Gil Perez, 1986).

Os filósofos da ciência contemporâneos, de uma maneira geral, consideram a epistemologia empirista-indutivista ultrapassada, superada, falsa. Popper (1975, 1982 e 1985) acumulou argumentos lógicos, psicológicos e históricos contra o chamado método indutivo (método que permite a partir de observações e resultados experimentais obter as leis, as teorias científicas) Enfatizou que "as nossas teorias são nossas invenções, nossas idéias — não se impõem a nós, são instrumentos que fabricamos" (Popper, 1982, p.144). Quando um cientista cria uma teoria, não o faz sempre inspirado por observações; pode buscar inspiração em qualquer fonte, inclusive na metafísica. Copérnico, por exemplo, teve a idéia de colocar o Sol como centro, não devido a novas observações astronômicas,

⁸ A suposição de que um conjunto de pontos em um plano é compatível com uma única função é flagrantemente falsa. Existem infinitas curvas que descrevem resultados experimentais com o grau de aproximação que se desejar e infinitas curvas que passam exatamente pelos pontos experimentais. Para maiores detalhes, consultar Hempel (1981), Chomski e Fodor (1987), Pinent e Silveira (1992)

mas devido a uma nova interpretação de fatos à luz de concepções semireligiosas, neoplatônicas (Koyré, 1986a e 1986b; Bronowski, 1992); para os platônicos e neoplatônicos o Sol era o astro mais importante e por isso não poderia orbitar em torno da Terra. A Terra é que deveria se movimentar em torno do Sol.

Outra importante característica do conhecimento científico é a sua provisoriabilidade. A idéia de um conhecimento demonstradamente verdadeiro e, em conseqüência, imutável, foi abandonada. As revoluções na Física no final do século XIX e início do século XX, ou anteriormente com Copérnico, Kepler, Galileu, Newton e exemplificam a provisoriabilidade do conhecimento. Referindo-se a sua concepção de ciência e à de Popper assim se pronunciou Kuhn (1979, p.6):

“Ambos rejeitamos o parecer de que a ciência progride por acumulação; em lugar disso, enfatizamos o processo revolucionário pelo qual uma teoria mais antiga é rejeitada e substituída por uma nova teoria.”

Ou ainda:

“Nenhuma teoria em particular pode, jamais ser considerada absolutamente certa: cada teoria pode se tornar problemática (...) Nenhuma teoria é sacrossanta ou fora de crítica”. (Popper. 1975, p 330)

Popper (1975,1982 e 1985), Kuhn (1979 e 1987), Hanson (1979), Lakatos (1989) e outros filósofos insistentemente notaram que todo o conhecimento, inclusive nossas observações, está impregnado de teorias. São as teorias que orientam o que observar, para onde dirigir a nossa atenção. Desta forma as teorias não procedem de observações; mas ao contrário, as observações são sempre precedidas de teorias. O sujeito tem um papel ativo na construção do conhecimento e as suas teorias determinam como ele percebe o mundo. A experiência sensorial se dá em função de expectativas, de algo teórico—não necessariamente explícito e consciente — que se antecipa a ela. A observação e a interpretação estão indissolivelmente ligadas.

Aprender algo novo é modificar algum conhecimento anterior, a aprendizagem sempre se dá a partir dos conhecimentos prévios (Popper, 1975). A observação e a experimentação têm papéis importantes na construção do conhecimento mas diferente daquele colocado pela epistemologia empirista-indutivista. Através delas testamos as nossas construções, e, eventualmente, podemos constatar que algo vai mal com o nosso conhecimento: quando ele nos leva a fazer uma predição sobre a realidade e esta não é confirmada. Entretanto, como bem destaca Lakatos (1989), quando os cientistas são confrontados com contra-evidências (resultados de observações e/ou experimentos que conflitam com as predições realizadas a partir da teoria) podem, e muitas vezes o fazem, propor hipóteses auxiliares que salvam a teoria. O abandono de uma teoria somente se dá quando, havendo uma teoria concorrente, esta possui um poder preditivo maior do que a outra. Ou seja, o abandono de uma teoria, para Lakatos, implica a aceitação de outra; a nova teoria deve ser capaz de propiciar mais predições sobre a realidade e, algumas destas predições excedentes devem ser confirmadas empiricamente. Deve, também, a nova teoria explicar com sucesso tudo o que a anterior explicava.

Sintetizando o que foi apresentado sobre as epistemologias contemporâneas destacamos;

- 1) A observação e a experimentação por si sós não produzem conhecimento. O "método indutivo" é um mito.
- 2) O conhecimento prévio determina como vemos a realidade, influenciando a observação. Todo o conhecimento, inclusive as observações, está impregnado de teorias.
- 3) O conhecimento científico é uma construção humana que tem como objetivo compreender, explicar e também agir sobre a realidade. Não podendo ser dado como indubitavelmente verdadeiro, é provisório e sujeito a reconstruções.
- 4) Na construção de novos conhecimentos participam a imaginação, a intuição, a criação e a razão. A inspiração para produzir um novo conhecimento pode vir inclusive da metafísica.
- 5) A aquisição de um novo conhecimento é sempre difícil e problemática. Os cientistas são relutantes em abandonar as teorias de suas preferências, mesmo quando parecem conflitar com a realidade. O abandono de uma teoria implica em reconhecer outra como melhor.

Citamos anteriormente que a literatura sobre ensino de Ciências prolifera a recomendação de se utilizar as epistemologias contemporâneas como subsídio teórico para o ensino. O reconhecimento de que o aluno é um ativo construtor de idéias é hoje quase que um consenso, dando origem a uma concepção denominada "construtivismo", abrigando sob essa denominação autores diversos. Não se deve inferir que os "construtivistas" convirjam integralmente sobre o que é e como se dá a construção do conhecimento, assim como muitas e importantes divergências existem entre os filósofos da ciência contemporâneos. Podemos encontrar até aqueles que usam a denominação "construtivismo" para concepções muito semelhantes à "aprendizagem por descoberta". Aliás, uma obra que foi extremamente importante para os filósofos positivistas do Círculo de Viena (o Círculo de Viena era a reunião de eminentes filósofos e cientistas empiristas-indutivistas no final da década de 20 e início da década de 30 do nosso século), escrita por um dos seus mais famosos integrantes—Rudolf Carnap —, tinha como título *A Construção Lógica do Mundo*.

Desde o final dos anos 70, tem sido realizada uma quantidade enorme de pesquisa sobre o que foi denominado de concepções alternativas. As concepções alternativas (CAs) são concepções que os alunos possuem "com significados contextualmente errôneos, não compartilhados pela comunidade científica" (Silveira et al., 1989, p.1129) e, portanto, em desacordo com as teorias científicas atuais.

A existência das CAs evidencia que efetivamente os alunos são construtores de idéias que objetivam dar conta do mundo, da realidade. Tem-se também notado que as CAs são extremamente resistentes à mudança; grande quantidade de alunos passa pela escola sem as modificar. Por exemplo, Silveira (1992) e Silveira et al. (1986,1989 e 1992) constataram que a maioria dos alunos

que cursam disciplinas de Física Geral mantém suas CAs sobre "força e movimento" e sobre "corrente elétrica".

A reiterada incapacidade do ensino tradicional em promover a mudança das CAs para as concepções científicas deve-se, supostamente, ao fato de que as primeiras não são tomadas em consideração como um conhecimento prévio do aluno a ser modificado. São poucos os cientistas que efetivamente inventaram as grandes teorias que hoje conhecemos — a maioria deles as adquiriu direta ou indiretamente dos seus inventores—e, portanto, é uma ingenuidade imaginar que cada aluno deva e possa reinventar, reconstruir, por exemplo, a Mecânica Clássica ou a Eletrodinâmica; pior ainda é trabalhar sob a hipótese de que a partir de algumas experiências os alunos as vão "descobrir ou redescobrir". A construção (no sentido de efetiva criação), por parte da maioria de humanidade, muito possivelmente não vá além das CAs. A questão crucial é, desta forma, a da aquisição, da apropriação pelo aluno do conhecimento historicamente produzido.

Tal objetivo certamente não é fácil de ser conseguido. Conforme destacado anteriormente, os cientistas relutam em abandonar as teorias de suas preferências. Por qual razão deveriam os alunos proceder de maneira diferente? As filosofias da ciência de Popper e Lakatos nos inspiraram a idealizar uma estratégia de ensino que visa a substituição das CAs pelas concepções científicas (Silveira, 1992). Sintetizando, sem entrar em detalhes devido a exigüidade do espaço disponível, ela começa pelo professor explicitar de maneira clara e precisa as CAs, mostrando o seu conteúdo de verdade (predições realizadas a partir das CAs que são corroboradas pela experiência). Segue-se a crítica das CAs, mostrando que algumas predições feitas a partir delas conflitam com a realidade e que, se for o caso, as CAs apresentam inconsistências lógicas. Em seguida é apresentada a teoria científica, enfatizando-se os antagonismos com as CAs. Depois se explicita a capacidade que a teoria científica tem de explicar aqueles fatos que com sucesso as CAs explicavam, aqueles fatos que as CAs falhavam em explicar e se mostra, adicionalmente, que a teoria científica permite predições sobre domínios da realidade não atingidos pelas CAs. É importante recordar que o abandono de uma teoria — no caso as CAs — somente se dará se os alunos reconhecerem que a teoria científica é melhor⁹.

A estratégia foi testada com 305 alunos, visando à mudança das CAs sobre "força e movimento" e "corrente elétrica" (Silveira, 1992). Os resultados corroboraram a eficiência da estratégia na promoção da mudança pretendida.

Referências Bibliográficas

BRONOWSKI, J. *A escalada do homem*. São Paulo: Martins Fontes, 1992.

BURBULES, N.C., LINN, M.C. Science education and philosophy of science: congruence or contradiction. *International Journal of Science Education*, London, v.13, n.3, p.227-241, 1991.

⁹Vide considerações anteriores sobre as idéias de Lakatos.

- CAWTHRON, E.R., ROWELL, J.A. *Epistemology and science education. Studies in Science Education*, New York, n.5, p.31-59, 1979.
- CHOMSKI, N., FODOR, J. Exposição do paradoxo, In: PALMARINI, M.P. *Teorias da linguagem teorias da aprendizagem*. Lisboa: Ed. Setenta, 1987.
- CLEMINSON, A. Establishing an epistemological base for science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v.27, n.5, p.429-445, 1990.
- GIL PEREZ, D. La metodología y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v.4, n.2, p.111-121, 1986.
- GIL PEREZ, D., CARRASCOSA, J. Science learning as conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, London, v.7, n.3, p.231-236, 1985.
- HANSON, N.R. Observação e interpretação, In: MORGENBES-SER, S. *Filosofia da ciência*. São Paulo: Cultrix, 1979.
- HEMPEL, CG. *Filosofia da ciência natural*. Rio de Janeiro: Zahar, 1981.
- HODSON, D. Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, New York, n.12, p.25-57, 1985.
- KUHN, T.S. Lógica da descoberta ou psicologia da pesquisa? In: LAKATOS, I., MUSGRAVE, A. *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix, 1979.
- KUHN, T.S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1987.
- KOYRÉ, A. *Do mundo fechado ao universo infinito*. Rio de Janeiro: Forense, 1986a
- KOYRÉ, A. *Estudos galileicos*. Lisboa: Dom Quixote, 1986b.
- LAKATOS, I. *La metodología de los programas de investigación*. Madrid: Alianza, 1989.
- MARTIN, B. et al. Authentic science: a diversity of meanings. *Science Education*, New York, v.74, n.5, p.541-554, 1990.
- NUSSBAUM, M.J. Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, London, n.11, p.530-540, 1989.
- NUSSENZVEIG, H.M. *Curso de física básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- PINENT, C.E.S., SILVEIRA, F.L. Mínimos quadrados: pode a reta, em algum caso, ser melhor função de ajustamento do que a parábola? *Scientia*, São Leopoldo, v.3, n.1, p.17-28, 1992.
- POPPER, K.R. *Conhecimento objetivo*. São Paulo: EDUSP, 1975.
- POPPER, K. R. *Conjecturas e refutações*. Brasília: Universidade de Brasília, 1982.
- POPPER, K.R. *Lógica da pesquisa científica*. São Paulo: EDUSP, 1985.
- SEARS, F. et al. *Física 1*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1983.
- SEGURA, D. Una premissa para el cambio conceptual: el cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v.9, n.2, p.175-180, 1991.
- SILVEIRA, F.L. A filosofia da ciência de Karl Popper e suas implicações no ensino da ciência. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v.6, n.2, p.148-162, 1991.
- SILVEIRA, F.L. *Uma epistemologia racional-realista e o ensino da Física*. Porto Alegre, 1992 Tese (Doutorado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

SILVEIRA, F.L. et al. Validação de um teste para detectar se o aluno possui ou não a concepção newtoniana sobre força e movimento. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.38, n.2, p.2047-2055, 1986.

TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

- nº. 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.
- nº. 2 Radioatividade
Brückmann, M. E. e Fries, S. G., 1991.
- nº. 3 Mapas Conceituais no Ensino de Física
Moreira, M.A. , 1992.
- nº. 4 Um Laboratório de Física para Ensino Médio
Axt, R. e Brückmann, M. E., 1993.
- nº. 5 Física para Secundaristas – Fenômenos Mecânicos e Térmicos
Axt, R. e Alves, V. M., 1994.
- nº. 6 Física para Secundaristas – Eletromagnetismo e Óptica
Axt, R. e Alves, V. M., 1995.
- nº. 7 Diagramas V no Ensino de Física
Moreira, M. A., 1996.
- nº. 8 Supercondutividade – Uma proposta de inserção no Ensino Médio
Ostermann, F., Ferreira, L. M. e Cavalcanti, C. H., 1997.
- nº. 9 Energia, entropia e irreversibilidade
Moreira, M. A., 1998.
- nº. 10 Teorias construtivistas
Moreira, M. A. e Ostermann, F., 1999.
- nº. 11 Teoria da relatividade especial
Ricci, T. F., 2000.
- nº. 12 Partículas elementares e interações fundamentais
Ostermann, F., 2001.
- nº. 13 Introdução à Mecânica Quântica. Notas de curso
Greca, I. M. e Herscovitz. V. E., 2002.
- nº. 14 Uma introdução conceitual à Mecânica Quântica para professores do ensino médio
Ricci, T. F. e Ostermann, F., 2003.
- nº. 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.

- v.16, n. 3 Epistemologias do Século XX
Massoni, N. T., 2005.
- v.16, n. 4 Atividades de Ciências para a 8a série do Ensino Fundamental: Astronomia, luz e cores
Mees, A. A.; Andrade, C. T. J. de e Steffani, M. H., 2005.
- v.16, n. 5 Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein
Wolff, J. F. de S. e Mors, P. M., 2005.
- v.16, n. 6 Trabalhos trimestrais: pequenos projetos de pesquisa no ensino de Física
Mützenber, L. A., 2005.
- v.17, n. 1 Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadoras de uma aprendizagem significativa no nível médio
Moraes, M. B. dos S. A., Ribeiro-Teixeira, R. M., 2006.
- v.17, n. 2 A estratégia dos projetos didáticos no ensino de física na educação de jovens e adultos (EJA)
Espindola, K. e Moreira, M. A., 2006.
- v.17, n. 3 Introdução ao conceito de energia
Bucussi, A., 2006.
- v.17, n. 4 Roteiros para atividades experimentais de Física para crianças de seis anos de idade
Grala, R. M., 2006.
- v.17, n. 5 Inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio: uma proposta para professores
Webber, M. C. M. e Ricci, T. F., 2006.
- v.17, n. 6 Unidades didáticas para a formação de docentes das séries iniciais do ensino fundamental
Machado, M. A. e Ostermann, F., 2006.
- v.18, n. 1 A Física na audição humana
Rui, L. R., 2007.
- v.18, n. 2 Concepções alternativas em Óptica
Almeida, V. O.; Cruz, C. A. da e Soave, P. A., 2007.
- v.18, n. 3 A inserção de tópicos de Astronomia no estudo da Mecânica em uma abordagem epistemológica
Kemper, E., 2007.
- v.18, n. 4 O Sistema Solar – Um Programa de Astronomia para o Ensino Médio
Uhr, A. P., 2007.
- v.18, n. 5 Material de apoio didático para o primeiro contato formal com Física; Fluidos
Damasio, F. e Steffani, M. H., 2007.
- v.18, n. 6 Utilizando um forno de microondas e um disco rígido de um computador como Laboratório de Física
Mai, I., Balzaret, N. M. e Schmidt, J. E., 2007.
- v.19, n. 1 Ensino de Física Térmica na escola de nível médio: aquisição automática de dados como elemento motivador de discussões conceituais
Sias, D. B. e Ribeiro-Teixeira, R. M., 2008.