

Física Experimental Básica: Óptica e Ondas

Aula 1

Introdução ao laboratório

Site da
Disciplina



Conteúdo desta aula:



Objetivos

- Obtenção, tratamento e análise de dados obtidos em experimentos de Ondas e Óptica (Física).
- Introdução ao uso de alguns aparelhos de medida e metodologias de apresentação de resultados.

Funcionamento

- Semestre é composto por 12 aulas:
 - 2 aulas introdutórias
 - 8 experimentos
 - 1 prova
 - 1 atividade avaliativa opcional, assíncrona ou reposição.

- **Aula 1:** Introdução ao laboratório
- **Aula 2:** Metodologias.
- **Aulas 3-6 a 8-11:** Experimentos 1-8
- **Aula 7:** Atividade avaliativa opcional.
- **Aula 12:** Prova

Funcionamento

Sequência de experimentos (aula 3 a 11)

1. Ondas estacionárias na corda
2. Movimento Harmônico Simples
3. Interferômetro de Michelson
4. Velocidade do som em metais **Sala 2047**

5. Interferência e Difração da Luz **Sala 2048**
6. Polarização da Luz
7. Lentes e Espelhos
8. Refração da Luz

Prova: Do tipo escolhido pelo professor

NÃO TEM EXAME ESPECIAL

Nota: distribuição de pontos é definida pelo professor.

Divisão de grupos

- Os alunos realizarão os experimentos em dupla.
- É crucial lembrar-se da ordem de execução dos experimentos, determinada para cada grupo, é mantida durante todo o semestre.
- Os experimentos (exceto em caso de avaliações) estão fixos em cada sala.
- Alunos e professores se deslocam e trocam de sala uma vez durante o semestre.

Divisão de grupos

A tabela abaixo sistematiza o percurso de cada grupo:

Turma	Impar (ex. PU1,PX3 ...)Início na sala 2047				Par (ex. PU2,PX4 ...)Início na sala 2048			
Grupo	A	B	C	D	E	F	G	H
3ª aula	1	2	3	4	5	6	7	8
4ª aula	2	3	4	1	6	7	8	5
5ª aula	3	4	1	2	7	8	5	6
6ª aula	4	1	2	3	8	5	6	7
7ª aula	Atividade Avaliativa							
8ª aula	5	6	7	8	1	2	3	4
9ª aula	6	7	8	5	2	3	4	1
10ª aula	7	8	5	6	3	4	1	2
11ª aula	8	5	6	7	4	1	2	3
12ª aula	Avaliação							

Pausa: divisão dos grupos

Uso de equipamentos

Sensores PASCO:



Utilizados na aquisição de medições de tensão ou corrente em função do tempo (sensor de tensão-corrente).

Permitem visualizar tendências nestas variáveis físicas diretamente no computador, utilizando software específico.

Estrutura das Aulas

- Após a Aula 2, realizaremos um experimento a cada semana seguindo sequência mostrada.
- Durante a semana que antecede a aula o aluno deve:
 - *Ler o roteiro do experimento,*
 - *Assistir ao vídeo demonstrativo*
 - *Acessar o material de apoio (caso necessário) disponível no site da disciplina.*
- Recomenda-se também a discussão com os colegas.
- Os alunos deverão chegar à aula sabendo como devem agir para realizar seu experimento.

Estrutura das Aulas

- No horário da aula, o aluno realizará o experimento e registrará os dados obtidos.
- O aluno deverá armazenar no seu Moodle ou correio eletrônico os dados para sua análise posterior.
- Se for necessário realizará um gráfico na aula para comprovação da qualidade das medidas experimentais.
- A elaboração de relatório, discussão do experimento e demais tipos de atividades serão realizadas fora do laboratório.

Estrutura das Aulas

- Observação: não há impressora nas salas.

ATENÇÃO!

Não há exame especial para as disciplinas de Física Experimental Básicas, conforme a Resolução Nº 001/2015, votada e aprovada pela Câmara Departamental do Departamento de Física em 03 de agosto de 2015.

Unidades internacionais

Nos experimentos realizados durante o curso deve-se expressar resultados (valores) e utilizá-los nos cálculos no sistema de unidades internacionais.

Unidades Fundamentais do SI:

Grandeza	Nome	Símbolo
comprimento	metro	m
tempo	segundo	s
Massa	quilograma	kg
Quantidade de matéria	mol	mol
Corrente elétrica	ampère	A
temperatura	Kelvin	K

*Intervalos de temperatura em graus Celsius equivalem a intervalos em Kelvin, e são comumente utilizados em experimentos de termodinâmica

Unidades internacionais

Algumas unidades internacionais utilizadas são obtidas pela combinação das unidades fundamentais

Grandeza	Nome da Unidade Derivada no SI	Símbolo	Equivalências
Frequência	hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
Força	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$
Pressão, tensão mecânica	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
Energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$
Potência e fluxo de energia	watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
Carga elétrica	coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A.s}$
Potencial elétrico, diferença de potencial, tensão elétrica, força eletromotriz	volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$
Capacitância	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$
Resistência elétrica	ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
Condutância elétrica	siemens	S	$1 \text{ S} = \Omega^{-1}$
Fluxo de indução magnética, fluxo magnético	weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V.s}$
Densidade de fluxo magnético, indução magnética	tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$
Indutância	henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A}$



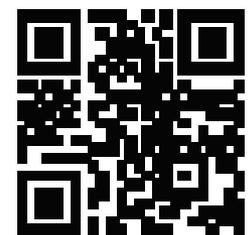
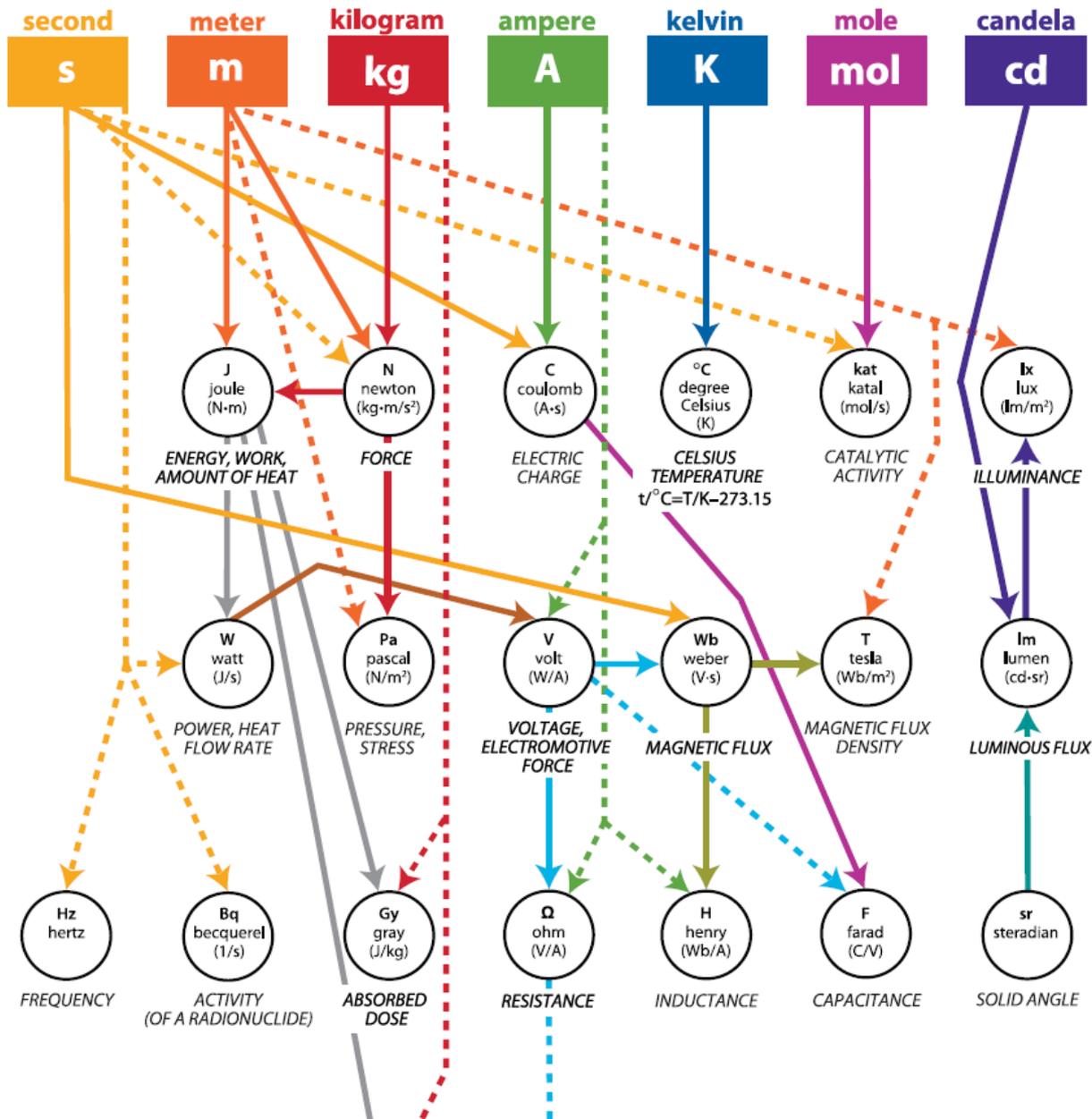
SI

**TRADITIONAL
BASE UNITS**

SI

**DERIVED
UNITS**

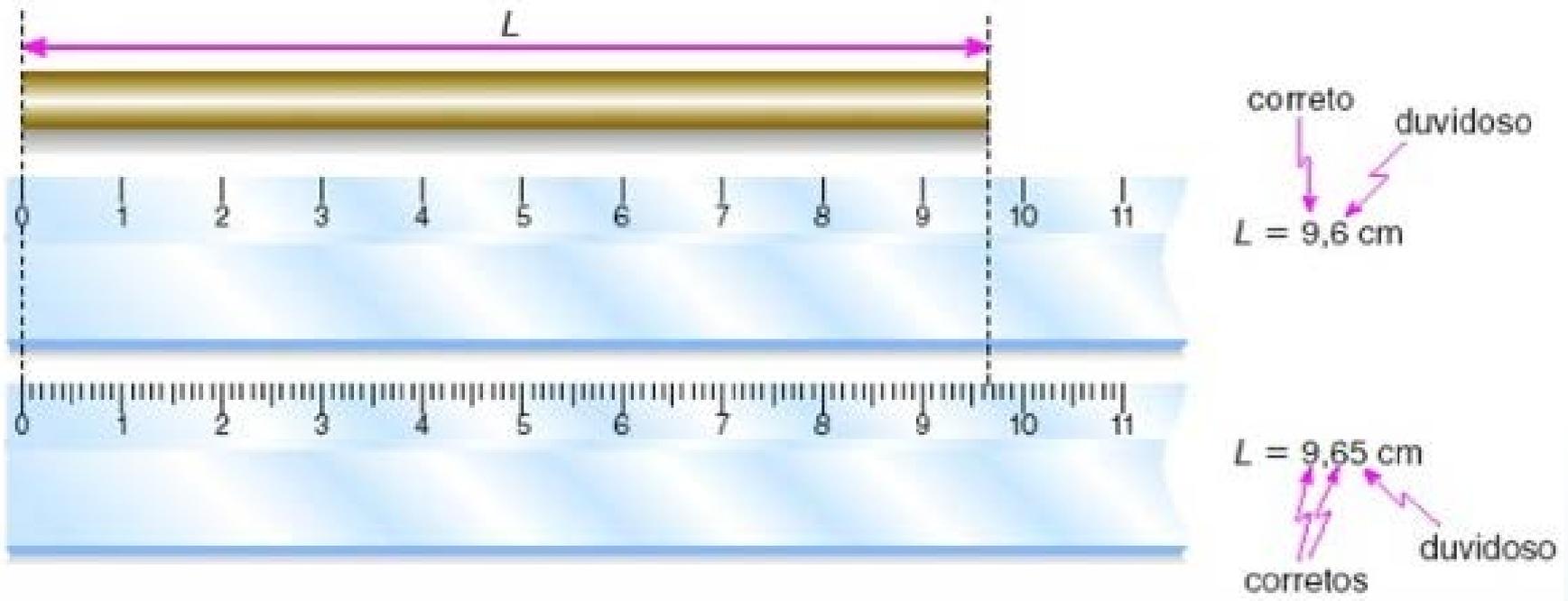
COHERENT DERIVED UNITS WITH SPECIAL NAMES AND SYMBOLS
—— MULTIPLICATION - - - - DIVISION



Potências de dez vs unidades

Prefixo		1000 ^m	10 ⁿ	Equivalente numérico
Nome	Símbolo			
yotta	Y	1000 ⁸	10 ²⁴	1 000 000 000 000 000 000 000 000 000
zetta	Z	1000 ⁷	10 ²¹	1 000 000 000 000 000 000 000 000
exa	E	1000 ⁶	10 ¹⁸	1 000 000 000 000 000 000 000
peta	P	1000 ⁵	10 ¹⁵	1 000 000 000 000 000
tera	T	1000 ⁴	10 ¹²	1 000 000 000 000
giga	G	1000 ³	10 ⁹	1 000 000 000
mega	M	1000 ²	10 ⁶	1 000 000
quilo	k	1000 ¹	10 ³	1 000
hecto	h	1000 ^{2/3}	10 ²	100
deca	da	1000 ^{1/3}	10 ¹	10
<i>nenhum</i>		1000 ⁰	10 ⁰	1
deci	d	1000 ^{-1/3}	10 ⁻¹	0,1
centi	c	1000 ^{-2/3}	10 ⁻²	0,01
mili	m	1000 ⁻¹	10 ⁻³	0,001
micro	μ	1000 ⁻²	10 ⁻⁶	0,000 001
nano	n	1000 ⁻³	10 ⁻⁹	0,000 000 001
pico	p	1000 ⁻⁴	10 ⁻¹²	0,000 000 000 001
femto	f	1000 ⁻⁵	10 ⁻¹⁵	0,000 000 000 000 001
atto	a	1000 ⁻⁶	10 ⁻¹⁸	0,000 000 000 000 000 001
zepto	z	1000 ⁻⁷	10 ⁻²¹	0,000 000 000 000 000 000 001
yocto	y	1000 ⁻⁸	10 ⁻²⁴	0,000 000 000 000 000 000 000 001

Algarismos significativos



Na 1ª régua temos medidas com 2 algarismos significativos, mas temos 3 algarismos significativos na 2ª régua (mais precisa).

O último algarismo de uma medida é o algarismo duvidoso

Algarismos significativos

São algarismos significativos todos aqueles contados, da esquerda para a direita, a partir do primeiro algarismo diferente de zero.

Exemplos:

- **45,30**cm > tem quatro algarismos significativos;
- 0,0**595**m > tem três algarismos significativos; e
- 0,0**450**kg > tem três algarismos significativos.

Ao se efetuar mudanças de unidade o número de algarismos significativos não se altera.

$$4,94 \text{ cm} = 0,0494 \text{ m}$$

Algarismos significativos

Potências de 10 não são parte dos algarismos significativos

raio (mm)	significativos
57,896	5
$5,79 \times 10^1$	3
$5,789600 \times 10^1$	7
6×10^2	1

Algarismos significativos

$$4,32 \text{ cm} + 2,1 \text{ cm} = ?$$

$$\begin{array}{r} 4,32 \text{ cm} \\ + 2,1 \text{ cm} \\ \hline 6,42 \text{ cm} \end{array}$$

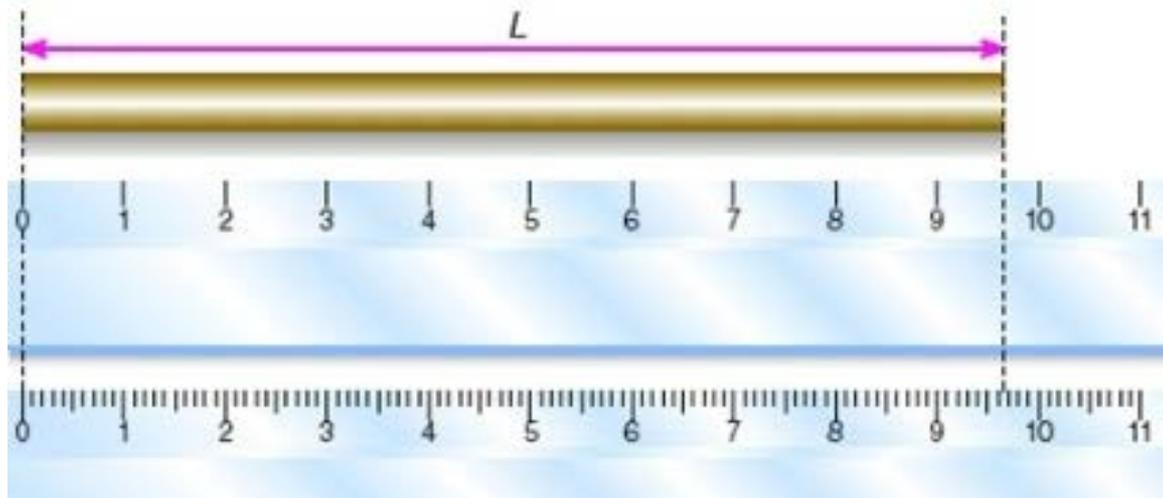
Resultado:

6,4 cm

Ao efetuar a soma de resultados deve-se expressar valores que sejam compatíveis com o valor de menor número de algarismos significativos (dentro os originalmente obtidos).

Mais informação no material de apoio do site da disciplina: <https://bit.ly/3Jxue7v>

Incertezas (diretas)



- **Forma correta**

- $(2,74 \pm 0,05)$ cm
- $2,74(5)$ cm
- $(123,4 \pm 1,2)$ kg ou (123 ± 1) kg

- **Forma incorreta**

- $(2,7455 \pm 0,0532)$ cm (incerteza com muitos algarismos)
- $(2,7 \pm 0,05)$ cm (a representação da medida não é compatível com a incerteza)

Incertezas (diretas)

Em alguns casos uma variável do experimento é medida muitas vezes, tornando a aferição de um processo mais precisa. O experimento é repetido identicamente e as variações na aferição das medidas é fundamentalmente aleatório

Deve-se expressar o valor médio e a incerteza como o desvio padrão da média.

Ex: Medida do tempo até um projétil lançado atingir o chão

Lançamento	Tempo (s)
1	1,93
2	1,89
3	2,01
4	1,95
5	2,02

$$t_{\text{médio}} = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)}{5}$$

$$t_{\text{médio}} = \bar{t} = 1,96 \text{ s}$$

Incertezas (diretas)

Em alguns casos uma variável do experimento é medida muitas vezes, tornando a aferição de um processo mais precisa. Deve-se expressar o valor médio e a incerteza como o **desvio padrão da média**.

Ex: Medida do tempo até um projétil lançado atingir o chão

$$t_{\text{médio}} = \bar{t} = 1,96 \text{ s}$$



Incerteza do valor médio = **desvio padrão da média**:

$$\Delta x = \left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

$$\Delta t = 0,024495 \text{ s}$$

Declare então: $t = (1,96 \pm 0,02) \text{ s}$

Incertezas (diretas)

Em alguns casos uma variável do experimento é medida muitas vezes, tornando a aferição de um processo mais precisa. Deve-se então expressar o valor médio e a incerteza como o desvio da média.

Ex: Medida do tempo até um projétil lançado atingir o chão

Lançamento	Tempo (s)
1	1,93
2	1,89
3	2,01
4	1,95
5	2,02

$$t_{\text{médio}} = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)}{5}$$

$$t_{\text{médio}} = \bar{t} = 1,96 \text{ s}$$

Incerteza = desvio padrão da média:

$$\Delta x = \left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

$$\Delta t = 0,024495$$

Declare então: **t = (1,96 ± 0,02) s**

Incertezas (gráficos)

Utilizamos análise gráfica (discutida em detalhes na 2ª aula do curso) para obter um resultado mais preciso e eficaz em relação à análise de uma tabela de dados (usada apenas em medidas diretas).

Exemplo: considere as medidas de corrente e tensão para aferição da resistência elétrica de um elemento resistivo ôhmico ($V = R I$)

Tensão (V)	Corrente (A)
1,0	0,052
2,0	0,098
3,0	0,151
4,0	0,195
5,0	0,244

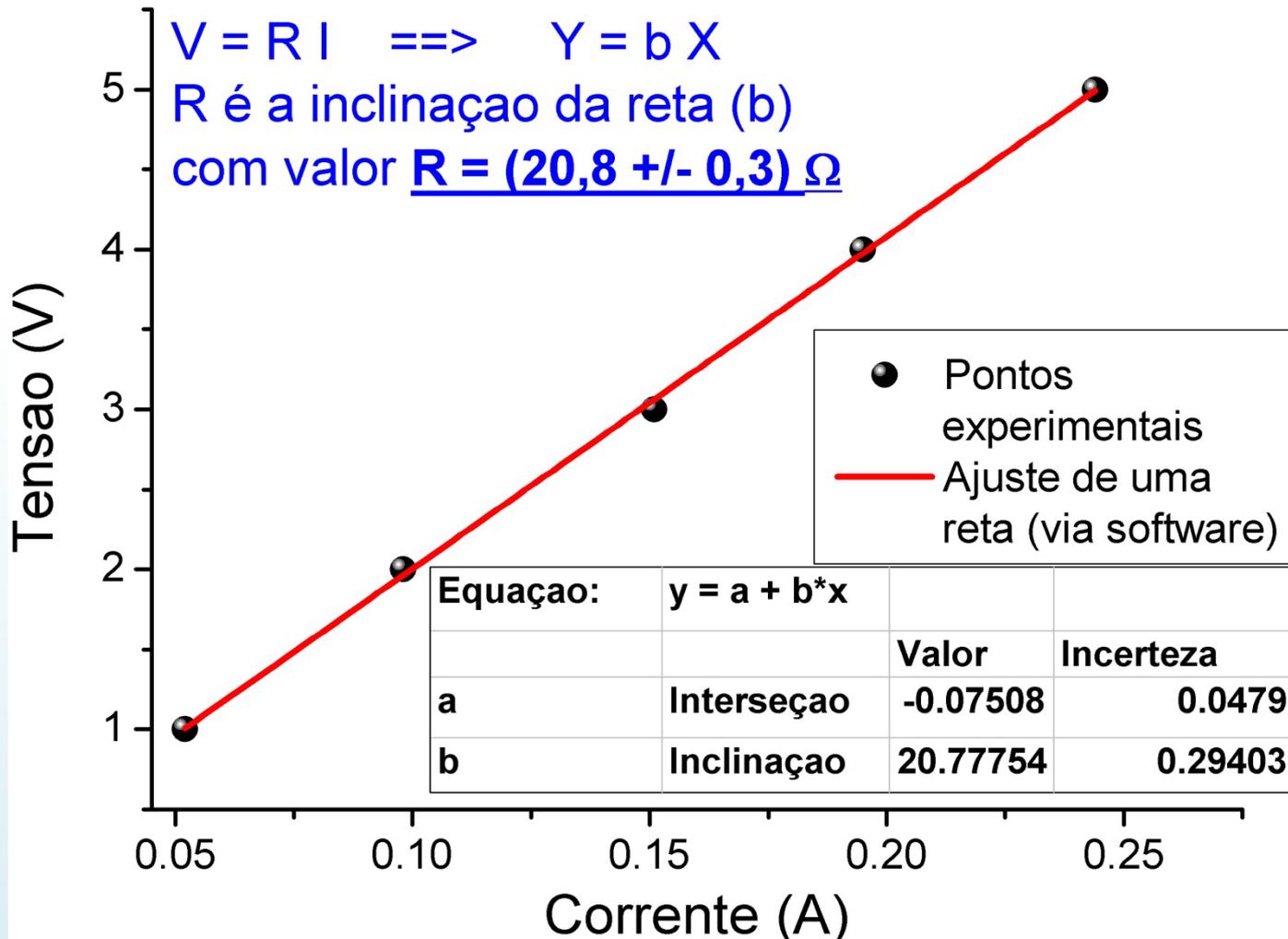
PELA TABELA (NÃO FAZER!!)

$$\bar{R} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n V_i / I_i$$

$$\Delta R = \left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \right]^{1/2}$$

Incertezas (gráficos)

Ao fazer um gráfico dos dados experimentais de V e I, encontra-se o valor de R como a inclinação da reta, cuja incerteza é diretamente fornecida pelo processo de regressão linear (2ª aula).



Propagação de incertezas

Em muitos casos não é possível aferir diretamente o valor da incerteza de uma medida cujo resultado é obtido a partir de um grupo de variáveis (e valores).

É necessário então utilizar alguns cálculos simples para se obter a incerteza final.

Ex: queremos saber o volume de um cilindro de gás cujas dimensões estão declaradas abaixo

Raio da base	–	$r = (0,14 \pm 0,01) \text{ m}$
Altura do cilindro	–	$h = (1,38 \pm 0,05) \text{ m}$

Sabendo que $V = \pi hr^2$ calcule ΔV

Propagação de incertezas

Cálculo simplificado para uma função do tipo:

$$Y = a^{p_1} b^{p_2} c^{p_3}$$

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \sqrt{\left(p_1 \frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(p_2 \frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(p_3 \frac{\Delta c}{c}\right)^2}$$

Na expressão de cima, $\frac{\Delta Y}{Y}$ representa a **incerteza padrão combinada relativa**, a qual é igual à raiz quadrada da soma dos quadrados das incertezas padrão relativas das grandezas, ponderadas pelos quadrados dos respectivos expoentes.

Permite comparar o valor da incerteza com o valor do resultado da medida.

Propagação de incertezas

Cálculo simplificado para uma função polinomial:

$$Y = a^{p_1} b^{p_2} c^{p_3}$$

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \sqrt{\left(p_1 \frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(p_2 \frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(p_3 \frac{\Delta c}{c}\right)^2}$$

para

$$V = \pi r^2 h \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(2 \frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(1 \frac{\Delta h}{h}\right)^2}$$

$$\rightarrow \quad \Delta V = V \sqrt{\left(2 \frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(1 \frac{\Delta h}{h}\right)^2}$$

Propagação de incertezas

Método geral para uma função qualquer (derivadas parciais)

$$Y = Y(a, b, c)$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial a}\right)^2 \Delta a^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial b}\right)^2 \Delta b^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial c}\right)^2 \Delta c^2}$$

para

$$V = \pi r^2 h \quad \rightarrow \quad \frac{\partial V}{\partial r} = 2\pi r h \quad \frac{\partial V}{\partial h} = \pi r^2$$

$$\Delta V = \sqrt{(2\pi r h)^2 \Delta r^2 + (\pi r^2)^2 \Delta h^2}$$

Propagação de incertezas

Note que, partindo de:

$$\Delta V = \sqrt{(2\pi r h)^2 \Delta r^2 + (\pi r^2)^2 \Delta h^2}$$

Dividindo-se os dois lados por $\pi r^2 h$

$$\frac{\Delta V}{\pi r^2 h} = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^2 h^2}{\pi^2 r^4 h^2} \Delta r^2 + \frac{\pi^2 r^4}{\pi^2 r^4 h^2} \Delta h^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(2 \frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(1 \frac{\Delta h}{h}\right)^2}$$

Propagação de incertezas

Método geral para uma função qualquer do tipo:

$$Y = ax \pm bz$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)^2 \Delta x^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial z}\right)^2 \Delta z^2}$$

$$\therefore \Delta Y^2 = a^2 \Delta x^2 + b^2 \Delta z^2$$

Mais informação no material de apoio do site da disciplina: <https://bit.ly/3Jxue7v>

Avisos Aula 2

Para a próxima aula você deve ter acesso a pelo menos um dos seguintes programas de acordo com o seu equipamento:

- **SciDAvis:** <https://sourceforge.net/projects/scidavis/>
 - Computador onde se pode instalar programas.
- **MyCurveFit:** <https://mycurvefit.com/>
 - Computador onde não é possível instalar programas. Este se usa sempre online.
- **LinearFit** (Smartphone): Busque “LinearFit” no “Play Store”:
(https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_oscar_gomezcalderon.LinearFit_ShaDB&hl=en_US)

→ Material de apoio para os programas:

<https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/disciplinas/feb-optica/#apoio>