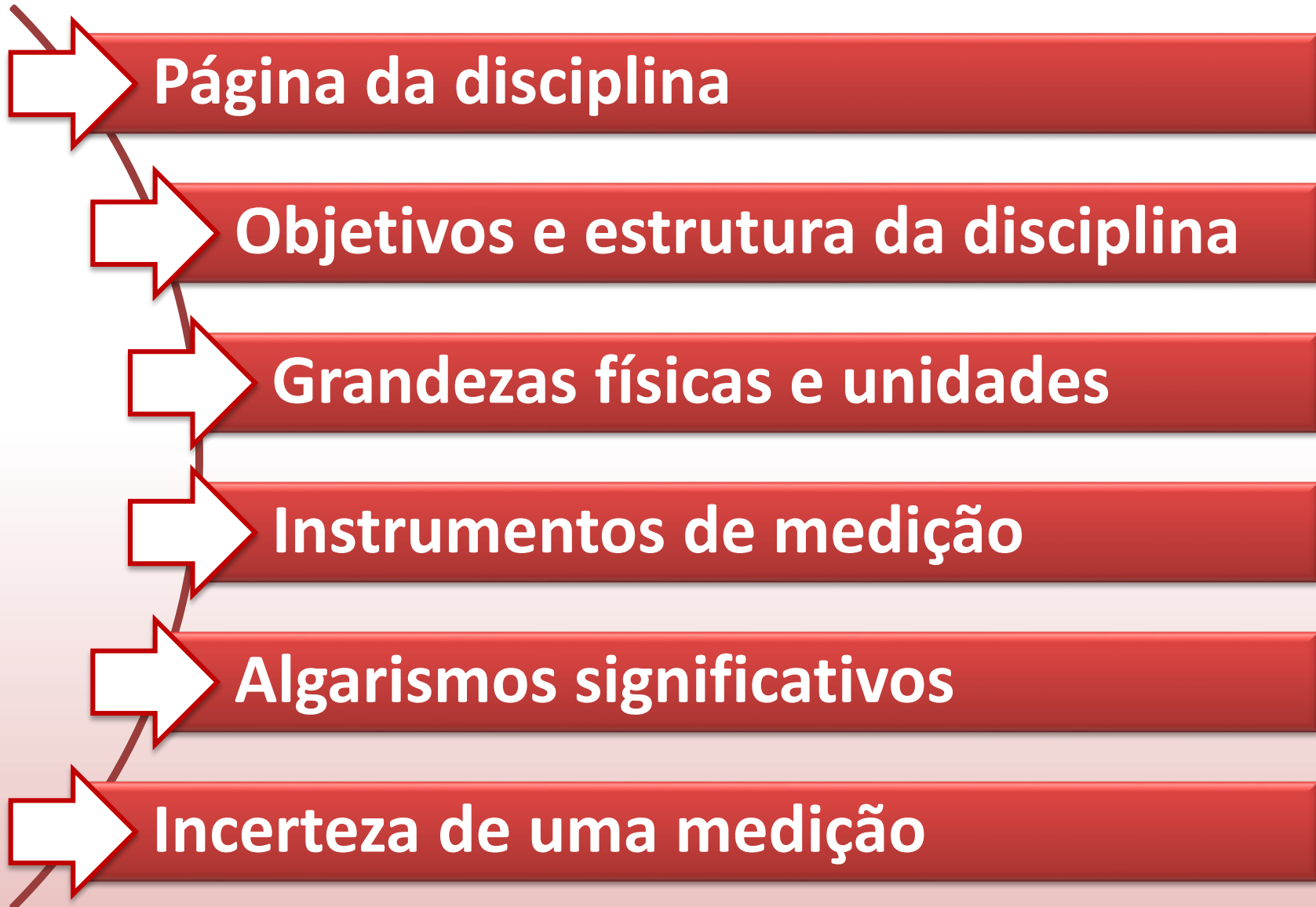


# **Física Experimental Básica: Mecânica**

## **Aula 1**

### **Introdução ao laboratório**

# Conteúdo da aula:



# Página da disciplina

A página

<https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/disciplinas/feb-mecanica/>

contém informações gerais da disciplina, e disponibiliza as aulas introdutórias, lista de exercícios, roteiros e vídeos dos experimentos, tutoriais para utilização dos programas gráficos adotados, além de materiais complementares.

# Objetivos da disciplina

- Esta é uma disciplina de introdução à física experimental com o foco em experimentos de mecânica.
- O objetivo principal é desenvolver as habilidades em tópicos essenciais à toda atividade experimental:
  - Utilização de instrumentos de medição.
  - Métodos de medição de grandezas físicas de forma direta e indireta.
  - Introdução ao conceito de incerteza de uma medição: suas origens, sua avaliação e apresentação.
  - Construção e análise de gráficos a partir de dados experimentais.
  - Discussão e avaliação crítica dos resultados obtidos em comparação com o modelo teórico e a partir dos métodos de medição empregados.
  - Descrição organizada e clara do trabalho experimental.

# Programa

- **Aula 1:** Introdução ao laboratório
- **Aula 2:** Propagação de incertezas e gráficos
- **Aula 3:** Experimento coletivo: Pêndulo simples
- **Aulas 4 a 11:** Experimentos\* em dupla:
  1. Constante elástica de molas;
  2. Oscilação de um sistema massa-mola;
  3. Deformação elástica de uma haste;
  4. Densidade de um líquido;
  5. Colisão inelástica;
  6. Movimento de um projétil;
  7. Movimento retilíneo com aceleração constante;
  8. Forças impulsivas.
- **Aula 12:** Prova experimental individual:
  - Módulo de flexão de uma haste.

\* Atenção à numeração dos experimentos. A importância ficará clara a seguir.

# Divisão de grupos

- Os experimentos 1 a 8 são realizados em dupla. Portanto, os alunos devem se dividir em duplas que serão classificadas em grupos A, B, C ou D, de acordo com a tabela do próximo slide.
- Esta classificação define a ordem de execução dos experimentos ao longo do semestre (veja a tabela).
- Em cada sala, ocorrem dois experimentos fixos. Alunos e professores se deslocam ao longo do semestre, de acordo com a tabela.
- Formem duplas e comuniquem ao professor(a), idealmente até a segunda aula.

Esta tabela mostra o local das aulas, experimentos e prova de acordo com o código da sua turma. Ela mostra também a sequência de experimentos ao longo do semestre de acordo com o seu grupo.

	Turmas			
	Ímpar ou A (exemplos: PR1, PU7A)		Par ou B (exemplos: PR2, PU7B)	
<b>Início</b> (aulas 1 a 5)	Sala 2067		Sala 2068	
<b>Grupos</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Experimentos 1 a 4:</b> Sala 2067 (1 e 2) Sala 2068 (3 e 4)	1	2	3	4
	2	1	4	3
	3	4	1	2
	4	3	2	1
<b>Experimentos 5 a 8:</b> Sala 2052 (5 e 6) Sala 2053 (7 e 8)	5	6	7	8
	6	5	8	7
	7	8	5	6
	8	7	6	5
<b>Prova experimental</b>	Salas 2067/2068		Salas 2052/2053	

# Distribuição de pontos

- A distribuição de pontos é definida pelo(a) professor(a). Consulte o plano de ensino da sua turma.
- A pontuação é distribuída em lista de exercícios (individual), relatórios (dupla) e prova (individual).
- A forma de entrega dessas atividades é definida pelo(a) professor(a). 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.

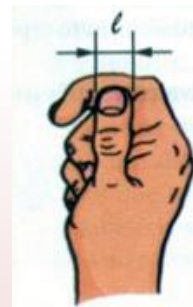


# **Grandezas físicas e unidades de medida**

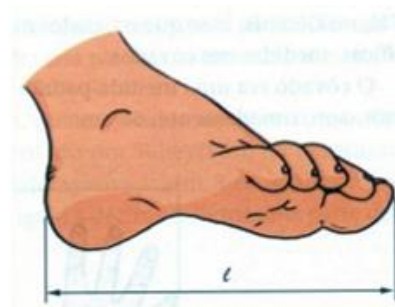
# Grandezas físicas e unidades de medição

- Uma **grandeza física** é definida ao atribuirmos a ela um significado preciso e uma unidade de medição.
- **Medir** é determinar o valor de uma grandeza em termos do valor de uma unidade estabelecida por meio de um padrão

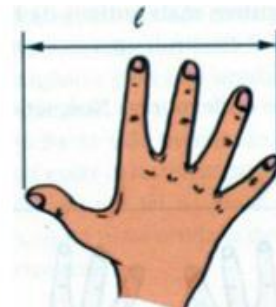
**Exemplo:** as primeiras formas de se medir o comprimento tomavam como unidade partes do corpo humano.



Polegada



Pé

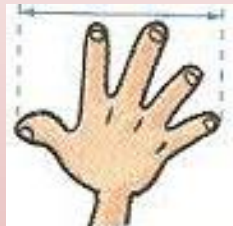


Palmo

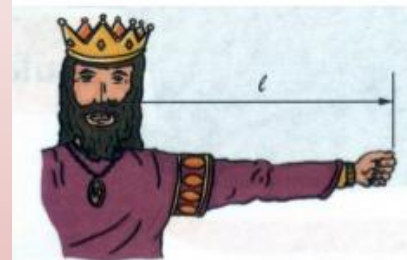
3 ×



= 3 ×



?



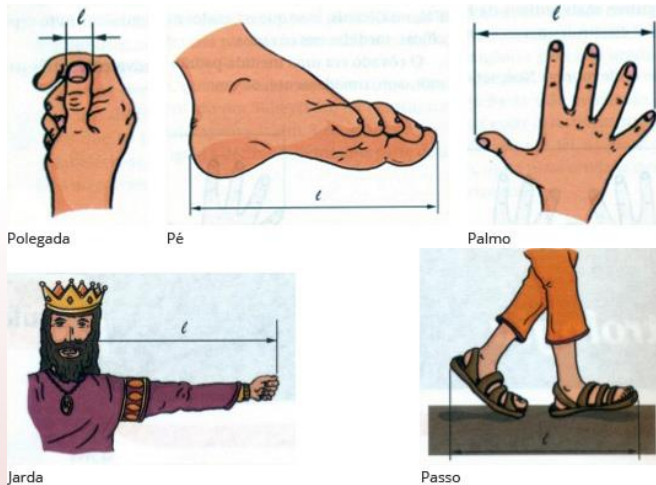
Jarda



Passo

# Grandezas físicas e unidades de medição

- Para que seja possível avaliar, reproduzir ou comparar os resultados de uma medição, as unidades devem ser definidas através de padrões acessíveis e invariantes.



Estes padrões de comprimento são acessíveis, mas não invariantes.

- Um **Sistema de Unidades** eficaz deve conter um número (pequeno) de grandezas físicas fundamentais com unidades padronizadas, que servirão de base para definirmos as unidades das demais grandezas.

# Sistema Internacional de Unidades

No Sistema Internacional de Unidades (SI), as grandezas fundamentais e suas respectivas unidades são as seguintes:

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

→ Lab. Mecânica

**Exemplo:** o metro é definido como a distância percorrida pela luz no vácuo em um intervalo de tempo de  $\frac{1}{299.792.458}$  do segundo.

# Sistema Internacional de Unidades

- Para grandezas que são combinações das fundamentais, as unidades no SI dependem da combinação. **Exemplo:**

$$[\text{aceleração}] = \left[ \frac{\text{comprimento}}{\text{tempo} \times \text{tempo}} \right] = \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right].$$

- Algumas unidades do SI derivadas das unidades fundamentais têm nome e símbolo próprios. Exemplos:

Grandeza	Nome da Unidade Derivada no SI	Símbolo	Equivalências
Frequência	hertz	Hz	1 Hz = 1 s <sup>-1</sup>
Força	newton	N	1 N = 1 kg.m/s <sup>2</sup>
Pressão, tensão mecânica	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
Energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	1 J = 1 N.m
Potência e fluxo de energia	watt	W	1 W = 1 J/s
Carga elétrica	coulomb	C	1 C = 1 A.s
Potencial elétrico, diferença de potencial, tensão elétrica, força eletromotriz	volt	V	1 V = 1 J/C
Capacitância	farad	F	1 F = 1 C/V
Resistência elétrica	ohm	Ω	1 Ω = 1 V/A

# Potências de dez vs unidades

- Muitas vezes, encontramos valores muito grandes ou muito pequenos de grandezas físicas expressas no SI.
- Nesses casos, é conveniente usar a notação científica (potência de 10) ou expressar as unidades com o prefixo correspondente.
- Não é necessário decorar todos os prefixos, mas é importante que você saiba associar os de uso mais frequente com a potência de 10 correspondente.

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

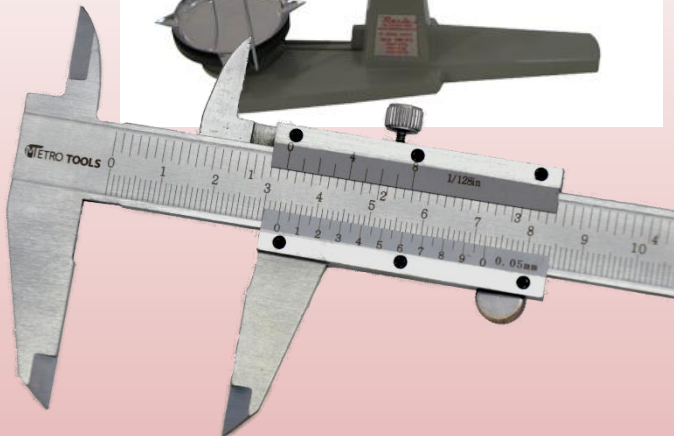
# **Instrumentos de medição**



# Instrumentos de medição

- Estabelecido um sistema de unidades, é possível desenvolver instrumentos para se medir as grandezas.
- Instrumentos típicos usados no Laboratório de Mecânica.

## Mostrador analógico



## Mostrador digital





# Instrumentos de medição

A **resolução** do instrumento de medição é a menor variação da grandeza medida que é perceptível no mostrador.

## Mostrador analógico

A resolução pode ser:

- O valor da menor separação entre duas marcas (traços)
- Uma fração perceptível desta menor separação.

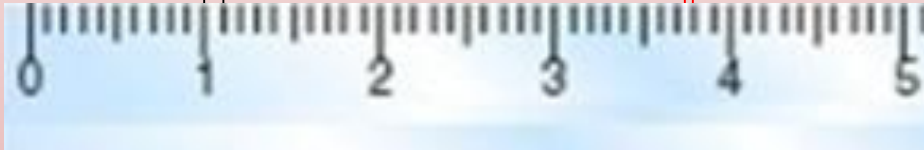
Menor separação

1 mm



Fração perceptível

0,5 mm



## Mostrador digital

A resolução é o valor do menor incremento da grandeza observado no mostrador.



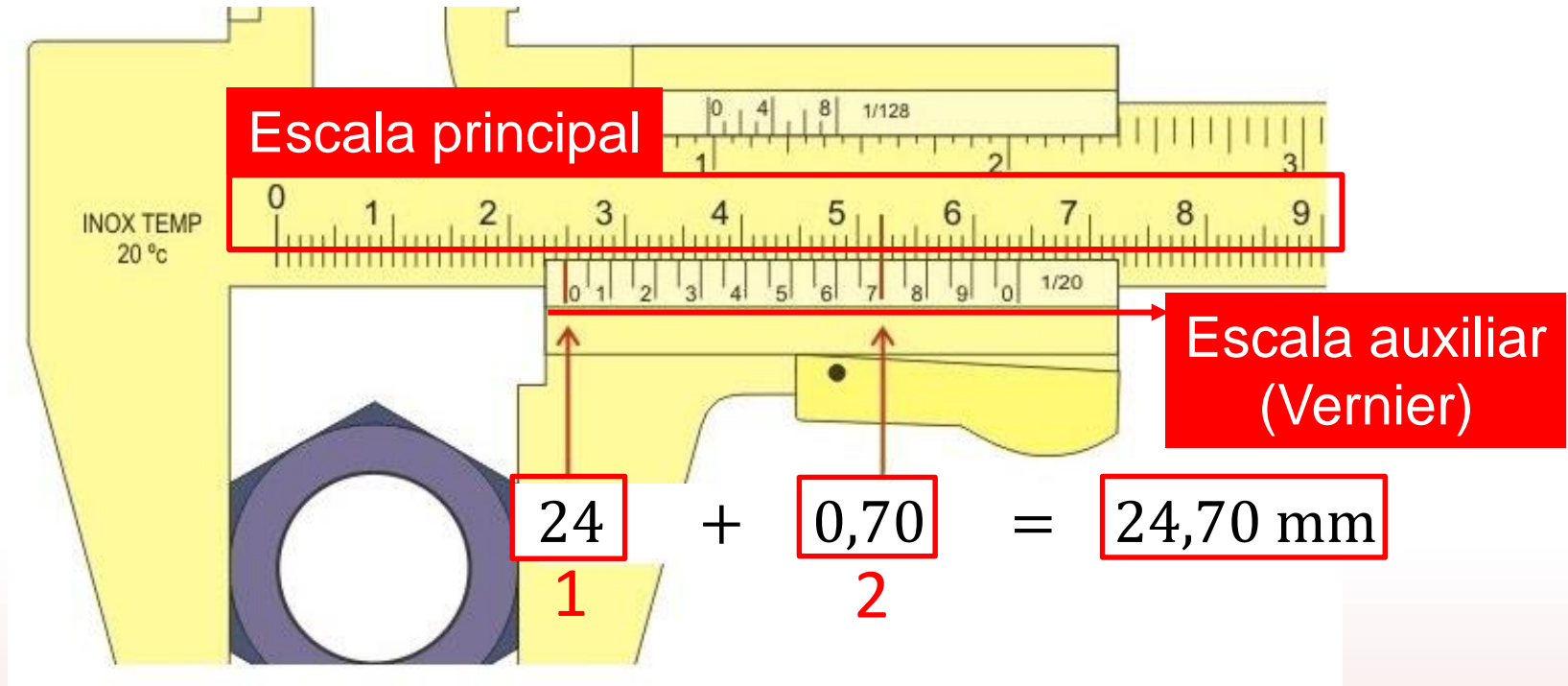
0,01 s

# Paquímetro



- O paquímetro é utilizado para medir dimensões lineares (externas e internas) como comprimento, largura, espessura e profundidade.
- No Laboratório de Mecânica, utilizamos paquímetros com escala em milímetros e resolução de 0,05 mm.
- Esta resolução é dez vezes maior que a de uma régua milimetrada. Portanto, a medição com o paquímetro nos dá uma maior precisão do resultado.
- Como se lê o valor de uma medição usando o paquímetro?

# Paquímetro



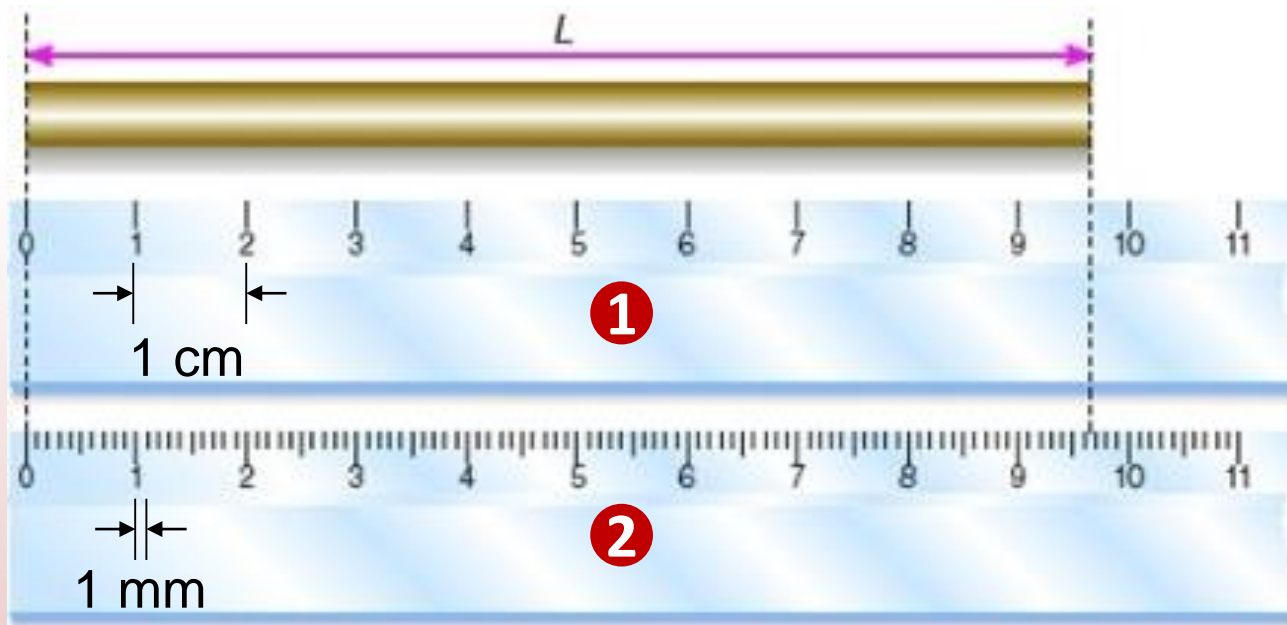
1. Determine a parte inteira contando o número de traços à esquerda do “zero” da escala auxiliar.
  2. Determine a parte decimal verificando qual dos traços da escala auxiliar se alinha com um traço da escala principal.
- Utilize o paquímetro em sua bancada para medir alguns objetos.

# **Algarismos significativos**

# Algarismos significativos

Algarismos significativos de uma medição são o conjunto de todos os algarismos corretos mais um algarismo duvidoso.

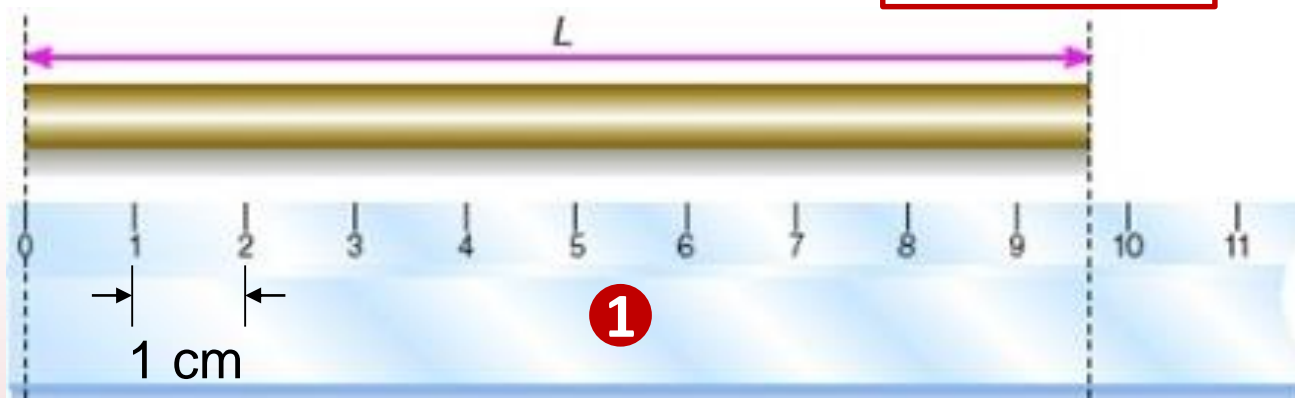
**Exemplo:** medindo o comprimento de uma barra usando régua com resoluções diferentes.



# Algarismos significativos

## Régua 1:

- Extremidade da barra está entre a marca 9 e 10 cm.
- Usando bom senso, estimo que esta extremidade está a 0,6cm de distância da marca 9cm.
- Declaro o resultado da medição como  $L = 9,6 \text{ cm}$

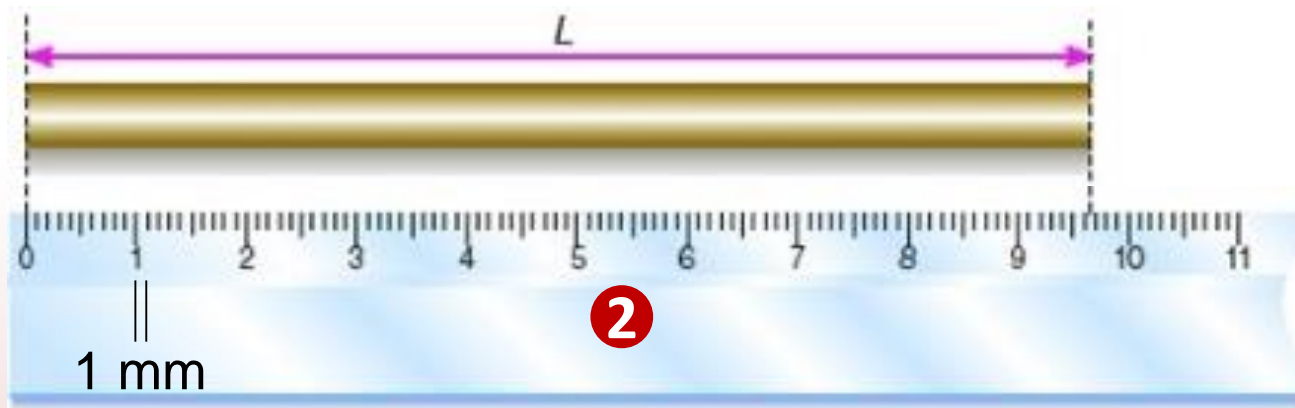


- Neste resultado, 9 é o algarismo correto (não há dúvidas sobre este valor).
- Já o algarismo 6 é duvidoso; outros poderiam estimar um valor ligeiramente diferente.
- Seria incorreto estimar algum valor para a 2ª casa decimal.

# Algarismos significativos

## Régua 2:

- Extremidade da barra está entre a marca 9,6 e 9,7 cm.
- Estimo o valor da 2ª casa decimal e declaro o resultado da medição como  $L = 9,65 \text{ cm}$



- Neste resultado, 9 e 6 são os algarismos corretos (não há dúvidas sobre estes valores).
- Já o algarismo 5 é duvidoso e seria incorreto estimar algum valor para a 3ª casa decimal.

# Algarismos significativos

## Algumas regras:

1. São algarismos significativos todos aqueles contados, da esquerda para a direita, a partir do primeiro algarismo diferente de zero. **Exemplos:**
  - $m = 13,3400 \text{ kg} \rightarrow$  seis algarismos significativos;
  - $L = 0,2430 \text{ m} \rightarrow$  quatro algarismos significativos;
  - $t = 0,0000021 \text{ s} \rightarrow$  dois algarismos significativos.
2. Ao se efetuar mudanças de unidade o número de algarismos significativos não se altera. **Exemplos:**
  - $m = 13,3400 \text{ kg} = 13340,0 \text{ g};$
  - $L = 0,2430 \text{ m} = 24,30 \text{ cm};$
  - $t = 0,0000021 \text{ s} = 2,1 \mu\text{s}.$



# Algarismos significativos

## 3. Potências de 10 **não** são parte dos algarismos significativos

- $m = 13,3400 \text{ kg} = 13340,0 \text{ g} = 1,3340 \times 10^4 \text{ g}$ ;
- $L = 0,2430 \text{ m} = 24,30 \text{ cm} = 243,0 \times 10^{-3} \text{ m}$ ;
- $t = 0,0000021 \text{ s} = 2,1 \mu\text{s} = 2,1 \times 10^{-6} \text{ s}$ .

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

# Algarismos significativos

## 4. Operações\*

- Existem algumas regras, não muito rígidas, para operações de adição/subtração e multiplicação/divisão com algarismos significativos. Todas elas requerem uma dose de bom senso.
- Exemplos:
  - $v = (2,243 \text{ m})/(1,4 \text{ s}) = 1,602142857 \text{ m/s};$
  - $X = 1,2345 + 0,12 = 1,3545 = 1,35$

### \*Observações:

- O número de algarismos significativos do resultado de uma medição é determinado pela incerteza (próximo tópico).
- Em cálculos intermediários, não se preocupe com essas regras. Use os algarismos disponíveis e faça o truncamento ou arredondamento apenas após conhecer a incerteza.

# **Incerteza de uma medição**

# Incerteza de uma medição

- Toda medição está sujeita a alguma incerteza, ou seja, sempre haverá uma margem de dúvida no resultado obtido.
- A incerteza pode ser devida a um ou mais dos seguintes fatores: à resolução finita do instrumento de medição, ao processo utilizado, ao operador, ao ambiente, entre outros.
- A forma mais comum de se expressar o resultado de uma medição é a seguinte:

(valor da grandeza  $\pm$  incerteza da medição) [unidade]

o que nos dá uma indicação quantitativa da qualidade do resultado.

# Incerteza de uma medição

(valor da grandeza  $\pm$  incerteza da medição) [unidade]

- A incerteza é fornecida com **um** (ou, no máximo, **dois**) algarismo(s) significativo(s).
- A incerteza determina o número de algarismos significativos do resultado e incide sobre o seu algarismo duvidoso.

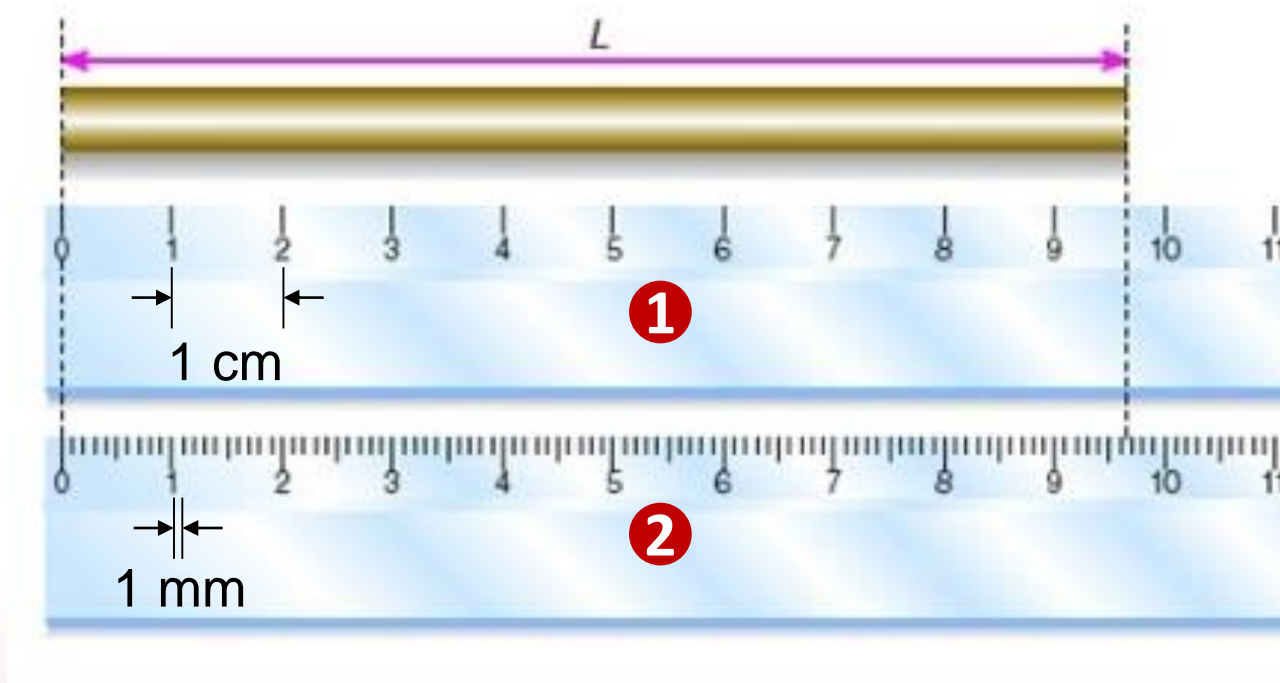
## Formas corretas

- $g = (9,78 \pm 0,05) \text{ m/s}^2$
- $v = (3,839 \pm 0,018) \times 10^8 \text{ m/s}$  ou  $(3,84 \pm 0,02) \times 10^8 \text{ m/s}$

## Formas incorretas

- $g = (9,8 \pm 0,05) \text{ m/s}^2$  (resultado incompatível com a incerteza)
- $v = (3,84 \pm 0,018345) \times 10^8 \text{ m/s}$  (excesso de algarismos)
- $m = (1,0374 \pm 0,02) \text{ kg}$  (resultado mais preciso que a incerteza?)

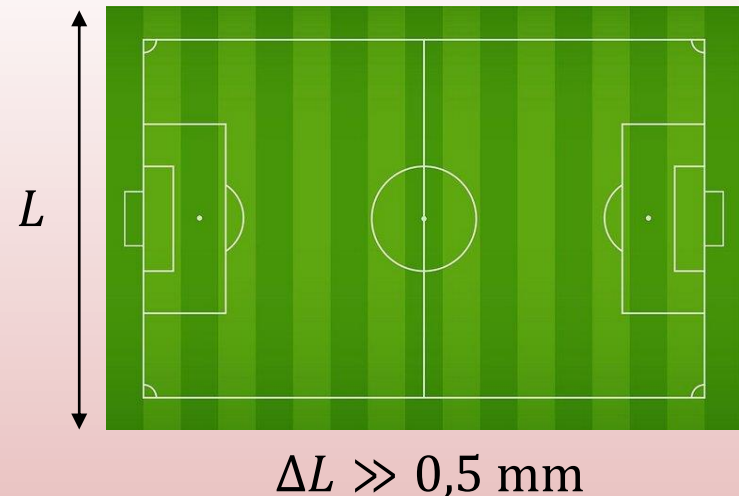
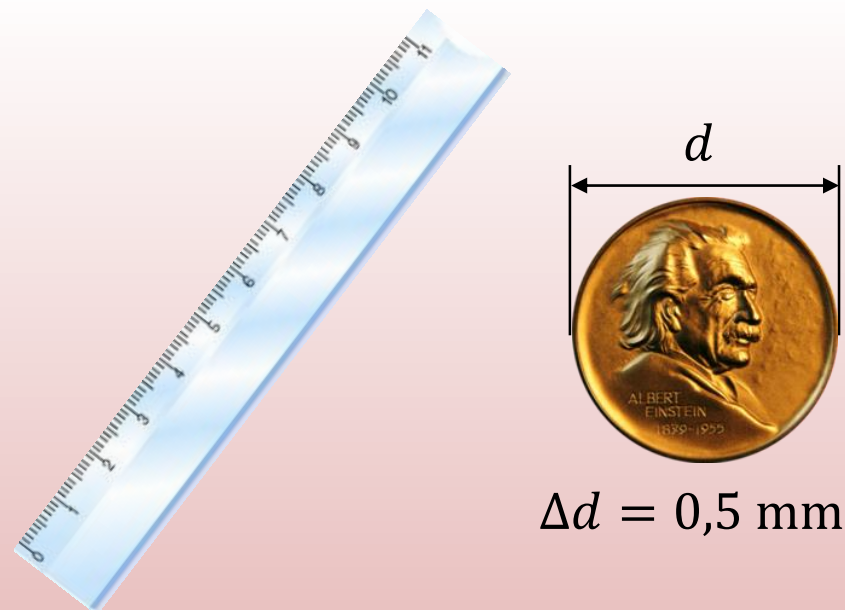
# Incerteza na leitura de escalas



- **Régua 1.** Melhor estimativa:  $9,5 < L < 9,7$  cm. Então:  
$$L = (9,6 \pm 0,1) \text{ cm.}$$
- **Régua 2.** Melhor estimativa:  $9,60 < L < 9,70$  cm. Então:  
$$L = (9,65 \pm 0,05) \text{ cm.}$$

# Incerteza na leitura de escalas

- No exemplo anterior, a incerteza da medição coincidiu com a resolução do instrumento.
- Porém, enquanto a resolução é uma característica do instrumento, a incerteza depende do processo de medição.
- **Exemplo:** medindo o diâmetro de uma moeda e a largura de um campo de futebol com uma régua milimetrada.



# Incertezas em medições repetidas

- Uma medição nem sempre se restringe à leitura de uma escala.
- Muitas vezes é necessário **repetir** uma medição várias vezes, **sob as mesmas condições**.
- Se uma grandeza  $x$  é medida  $n$  vezes e os valores  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  são obtidos, qual o resultado final e sua incerteza?
- Em geral, a melhor estimativa para  $x$  é seu **valor médio**:

$$x_{\text{médio}} = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j ,$$

- e a incerteza é o **desvio padrão da média** das observações:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2} .$$



# Incertezas em medições repetidas

- **Exemplo:** Medida do intervalo de tempo entre o lançamento de um projétil e o instante em que ele toca o chão.
- **Refleta:** a resolução do cronômetro é a maior fonte de incerteza? Uma medição é suficiente para uma boa estimativa do tempo?

$$\bar{t} = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)}{5}$$
$$= 1,9560 \text{ s}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{1}{5(5-1)} \sum_{j=1}^N (t_j - \bar{t})^2}$$
$$= 0,0260 \text{ s}$$

Lançamento	$t_j$ (s)	$[t_j - \bar{t}]$ (s)
1	1,91	-0,046
2	1,89	-0,066
3	2,01	0,054
4	1,95	-0,006
5	2,02	0,064

Declare então:

$$t = (1,96 \pm 0,03) \text{ s}$$

# Incerteza de uma medição

- Para uma introdução mais detalhada ao tópico “Análise de Incertezas”, consulte nosso material de apoio em <https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/disciplinas/feb-mecanica/>
- Comecem a resolver as questões da lista de exercícios relativas ao conteúdo da aula de hoje.

## Próxima aula

- Estudaremos a propagação de incertezas em medições indiretas e a análise gráfica de dados experimentais. Recomenda-se a leitura do tutorial do programa de gráficos SciDaViS, disponível na página da disciplina.