

# Física Experimental III

Primeiro semestre de 2018

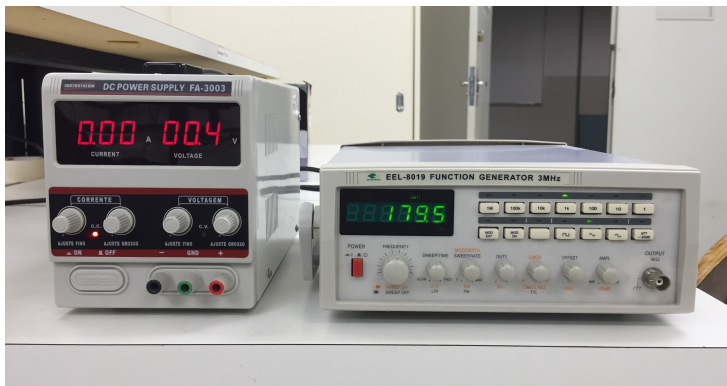
## Aula 1 - Experimento 1

Página da disciplina:

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=61486>

6 de março de 2018

# Experimento I - Circuitos elétricos de corrente contínua e alternada



## 1 Experimento

- Experimento I
- Conceitos importantes
- Curvas características
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo

## 1 Experimento

- Experimento I
- Conceitos importantes
- Curvas características
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo



## 1 Experimento

- Experimento I
- Conceitos importantes
- Curvas características
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo

# Objetivos do experimento

- Estudar alguns elementos simples de circuitos elétricos a partir de suas curvas características
  - ▶ Resistores
  - ▶ Células solares
  - ▶ Baterias
- Primeiro contacto com as medidas em AC, uso do osciloscópio

- 1 + 3 + 1 semanas

- ▶ semana 0

- ★ Medida da tensão de uma pilha utilizando vários voltímetros

- 1 + 3 + 1 semanas

- ▶ semana 0

- ★ Medida da tensão de uma pilha utilizando vários voltímetros

- ▶ **Semana 1**

- ★ **Medida da curva característica de um resistor montado em um circuito em série e em paralelo alimentado por corrente contínua (DC)**

- 1 + 3 + 1 semanas
  - ▶ semana 0
    - ★ Medida da tensão de uma pilha utilizando vários voltímetros
  - ▶ **Semana 1**
    - ★ **Medida da curva característica de um resistor montado em um circuito em série e em paralelo alimentado por corrente contínua (DC)**
  - ▶ **Semana 2**
    - ★ Medida da curva característica de uma pilha comum e de uma célula solar no regime de corrente contínua (DC)

- 1 + 3 + 1 semanas

- ▶ semana 0

- ★ Medida da tensão de uma pilha utilizando vários voltímetros

- ▶ **Semana 1**

- ★ **Medida da curva característica de um resistor montado em um circuito em série e em paralelo alimentado por corrente contínua (DC)**

- ▶ Semana 2

- ★ Medida da curva característica de uma pilha comum e de uma célula solar no regime de corrente contínua (DC)

- ▶ Semana 3

- ★ Medida da curva característica de um resistor em um circuito em série alimentado por corrente alternada (AC)

- 1 + 3 + 1 semanas

- ▶ semana 0

- ★ Medida da tensão de uma pilha utilizando vários voltímetros

- ▶ **Semana 1**

- ★ **Medida da curva característica de um resistor montado em um circuito em série e em paralelo alimentado por corrente contínua (DC)**

- ▶ Semana 2

- ★ Medida da curva característica de uma pilha comum e de uma célula solar no regime de corrente contínua (DC)

- ▶ Semana 3

- ★ Medida da curva característica de um resistor em um circuito em série alimentado por corrente alternada (AC)

- ▶ Semana 4 (a “+1”, depois da Páscoa)

- ★ Medida das propriedades (amplitude, frequência, fase, etc) da tensão da rede (AC)

# IMPORTANTE!

- Síntese da semana (até 1 ponto)
  - ▶ Arquivo em PDF com os gráficos das curvas obtidas, ajustes realizados e eventuais comentários
  - ▶ **A data máxima para upload é 18h00 da segunda-feira**
    - ★ Upload no site de reservas como “síntese”
- Muitas atividades são feitas através da comparação dos resultados de toda a turma
- **Banco de dados no site da disciplina**
  - ▶ Grupos DEVEM fazer upload de resultados no site
  - ▶ A data máxima para upload é 18h00 da sexta feira antes da Semana Santa (23/03)
- Atividade individual mensal: vai ser proposta uma tarefa a ser completada até o final do mês.
  - ▶ Os detalhes serão publicados no site até o final da semana.



## 1 Experimento

- Experimento I
- **Conceitos importantes**
- Curvas características
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo

# Alguns conceitos importantes

- Potencial elétrico
- Corrente elétrica
- Energia e potência
- Resistência elétrica
  - ▶ Lei de Ohm
- Leis de Kirchhoff
- Medindo tensões, correntes e resistências

- Força coulombiana entre duas cargas

$$\vec{F}(q_1, q_2) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

- Força aplicada a uma carga devido à interação com várias cargas diferentes

$$\vec{F}(q) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

- Em analogia ao campo gravitacional podemos dizer que a carga  $q$  sofre uma força devido ao campo elétrico resultante da presença das outras cargas:

$$\vec{F}(q) = q\vec{E}$$

- O campo elétrico, neste caso, vale:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

- Forças conservativas podem ser escritas através de um potencial, de tal modo que o campo de uma força conservativa é dado por:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V$$

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x}\hat{x} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{y} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{z}$$

- Unidades
  - ▶ Potencial elétrico  $\Rightarrow V$  (volt)
  - ▶ Campo elétrico  $\Rightarrow V/m$  (volt por metro)

- Cargas em movimento geram corrente
- Define-se a corrente elétrica como sendo a quantidade de carga que atravessa uma secção transversal de um meio por unidade de tempo

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

- Unidade
  - ▶ Corrente elétrica  $\Rightarrow$  A (Ampere = C/s)

- Define-se potência como sendo a taxa de realização de trabalho, ou seja:

$$P = \frac{dW}{dt} = V i$$

- Dois casos distintos
  - ▶ Potência negativa  $\Rightarrow$  Fornecendo energia
  - ▶ Potência positiva  $\Rightarrow$  Absorvendo energia
- Unidade
  - ▶ Potencia  $\Rightarrow W$  (Watt =  $J/s$ )

# Resistência de um material

- Corrente elétrica
  - ▶ Elétrons livres se movendo em um condutor
  - ▶ Interação com outros elétrons e átomos do material
    - ★ Resistência à movimentação das cargas

- Resistência elétrica

$$R = \frac{V}{i}$$



- Unidade
  - ▶ Resistência elétrica  $\Rightarrow \Omega$  (Ohm =  $V/A$ )



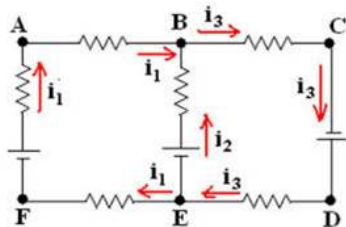
- A lei de Ohm estabelece que a resistência elétrica

$$R = \frac{V}{i}$$

deve ser **constante** para um determinado material. Esta resistência não deve depender da tensão ou corrente no circuito utilizado. Neste caso diz-se que o **resistor é ôhmico**.

# Leis de Kirchhoff

- Soma das tensões em um loop qualquer deve ser nula
- Soma das correntes em um nó qualquer deve ser nula
- Cuidado com orientações e sinais



# Potência absorvida por um resistor

- Em um resistor

$$R = \frac{V}{i}$$

- Deste modo, podemos calcular a potência absorvida como sendo:

$$P = V i$$

$$P = R i^2 \quad \text{ou} \quad P = \frac{V^2}{R}$$

## 1 Experimento

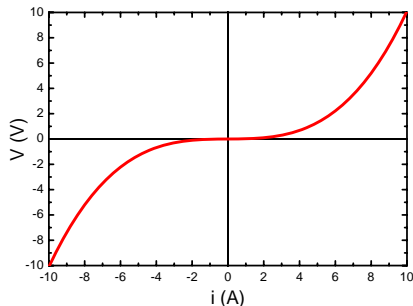
- Experimento I
- Conceitos importantes
- **Curvas características**
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo

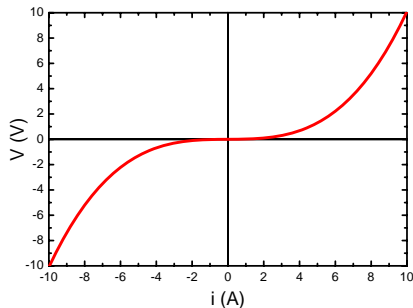
# Curva característica

- O que é?
  - ▶ É um gráfico, característico de cada elemento, que estabelece qual a tensão sobre o elemento em função da corrente aplicada
    - ★ Em geral, gráfico de  $V \times i$  para Físicos
    - ★ Técnicos, engenheiros preferem  $i \times V$



# Curva característica

- Pontos importantes
  - ▶  $V = 0$  para  $i = 0$ 
    - ★ Não há tensão se não há corrente aplicada
- Resistência do elemento
  - ▶  $R = \frac{V}{i}$
- Resistência dinâmica
  - ▶  $R = \frac{dV}{di}$
  - ▶ Relevância prática

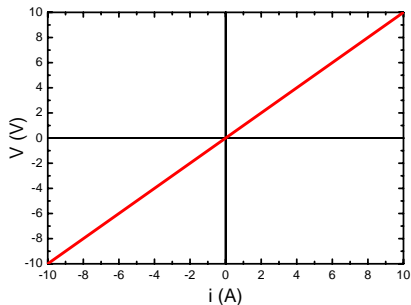


# Exemplo: resistor ôhmico

- No caso do resistor ôhmico
  - ▶  $R = \frac{V}{i} = \text{const.}$ , ou seja

$$V = R i$$

- Curva característica
  - ▶ Reta
  - ▶ Resistência dinâmica = resistência



## 1 Experimento

- Experimento I
- Conceitos importantes
- Curvas características
- **Medidas elétricas**
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo



# Como medir eletricidade?

- Várias técnicas
  - ▶ Balanças de correntes
    - ★ Medem a força entre dois fios utilizando uma balança mecânica
  - ▶ Balanças eletrostáticas
    - ★ Medem a carga entre dois objetos utilizando uma balança mecânica
  - ▶ Amperímetros/voltímetros/osciloscópios/etc.
    - ★ Instrumentos utilizados para medir correntes, tensões elétricas, etc.
    - ★ Muito utilizados em situações práticas do dia-a-dia

# Instrumentos básicos de um laboratório de eletrônica

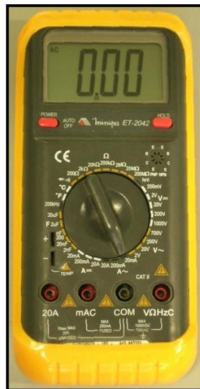
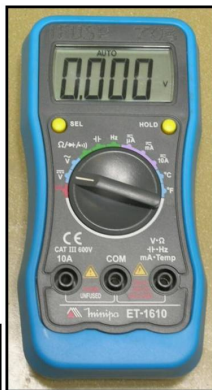
Multímetro {  
Voltímetro  
Amperímetro  
Ohmímetro  
Capacitômetro  
Indutômetro  
Frequencímetro

Osciloscópio {  
Voltímetro  $v(t)$   
Cronômetro

Fontes de tensão e/ou corrente {  
Pilha / bateria  
Fontes CC (DC)  
Fontes CA (AC)

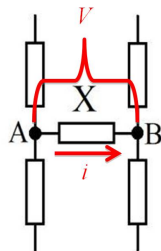
Interfaces para aquisição de dados (multi I/O) {  
Fontes CA/CC programáveis  
Voltímetro  
Cronômetro  
Frequencímetro

# Multímetro



# Utilizando um multímetro

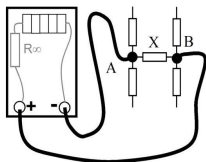
Elemento de circuito  $X$ , pelo qual passa uma corrente  $i$  e sobre o qual existe uma tensão  $V$



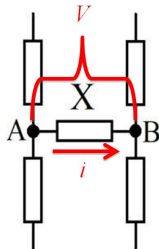
# Utilizando um multímetro

## Medida da tensão $V$

Voltímetro



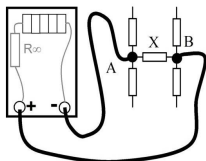
Elemento de circuito X, pelo qual passa uma corrente  $i$  e sobre o qual existe uma tensão  $V$



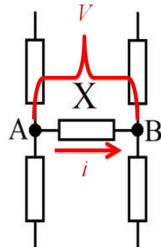
# Utilizando um multímetro

## Medida da tensão $V$

Voltímetro

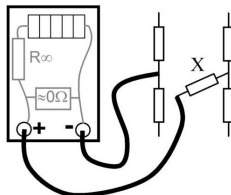


Elemento de circuito X, pelo qual passa uma corrente  $i$  e sobre o qual existe uma tensão  $V$



## Medida da corrente $i$

Amperímetro

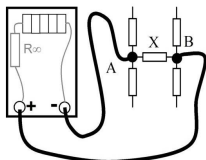


# Utilizando um multímetro

Elemento de circuito  $X$ , pelo qual passa uma corrente  $i$  e sobre o qual existe uma tensão  $V$

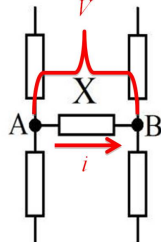
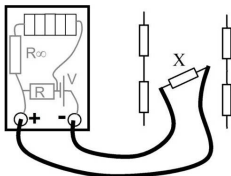
Medida da tensão  $V$

Voltímetro



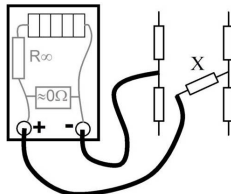
Medida da resistência

Ohmímetro



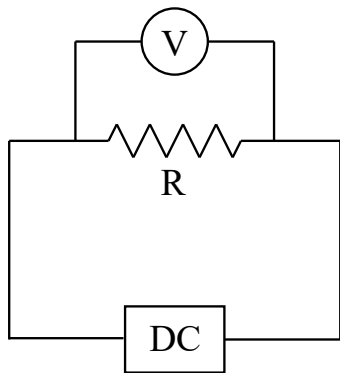
Medida da corrente  $i$

Amperímetro



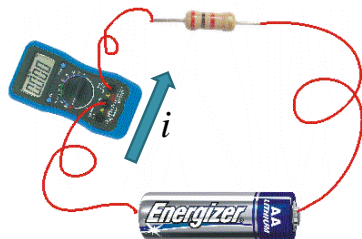
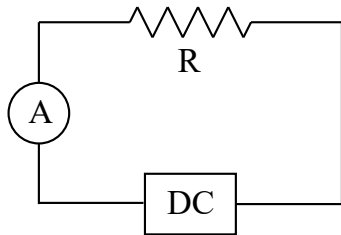
# Medindo tensão

- O Voltímetro deve ser colocado em paralelo ao elemento que se quer medir a tensão



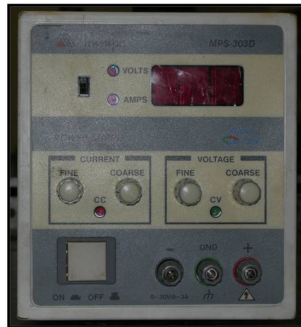
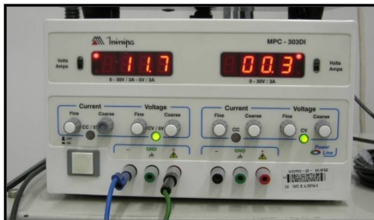


- O Amperímetro deve ser colocado em série ao elemento que se quer medir a corrente



# Geradores

- DC - Direct Current - Tensão/Corrente contínua
- Modo tensão (regula V, I depende do circuito)
- Modo corrente (regula I, V depende do circuito)



## 1 Experimento

- Experimento I
- Conceitos importantes
- Curvas características
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo

- Familiarizar-se com equipamentos do laboratório
  - ▶ Como realizar medidas elétricas
    - ★ Fontes, multímetros, etc.
- Medir as curvas características de alguns componentes simples
  - ▶ Resistor comercial



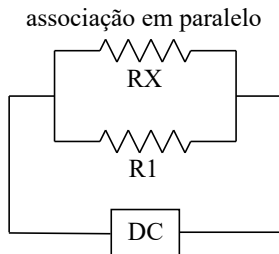
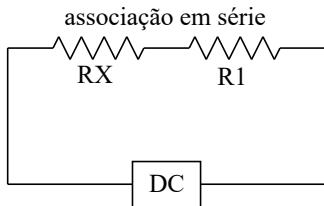
# Voltímetro e amperímetro

## Voltímetro



## Amperímetro



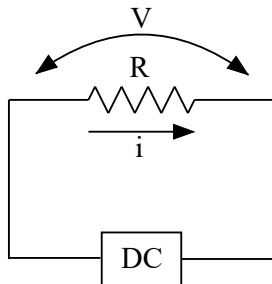


- Medir a curva característica de um resistor comercial RX para as duas associações
  - ▶ Medir para tensões positivas e negativas

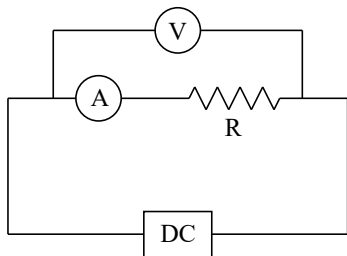
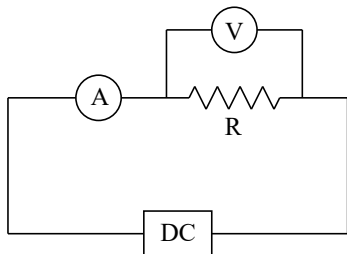
- Estimar a ordem de grandeza das correntes elétricas envolvidas nos circuitos.
  - ▶ Estas correntes são passíveis de serem medidas diretamente com o amperímetro disponível?
  - ▶ Qual é a dissipação de potência no resistor devida a estas correntes?
- Estime quantos pontos diferentes de tensão e corrente seriam necessários para definir bem o comportamento da curva característica do resistor nos limites de operação dos instrumentos
- Faça um esquema dos circuitos que serão utilizados para as medidas, explicitando onde serão colocados o voltímetro e o amperímetro em cada caso.
- Mais detalhes no roteiro do experimento no site
- **OS GRUPOS somente poderão usar o laboratório após apresentar esta atividade resolvida**



- Utilizando um circuito elétrico simples
  - ▶ Mede-se a tensão elétrica sobre o resistor
  - ▶ Mede-se a corrente que flui sobre o mesmo
  - ▶ Faz-se o gráfico apropriado



- Utiliza-se um voltímetro para medir a tensão no resistor
- E um amperímetro para medir a corrente no resistor
- Duas opções de circuito elétrico
  - ▶ Qual é melhor?
  - ▶ Lembrem-se do experimento feito em Fís. Exp. II



# Atividades da semana 1

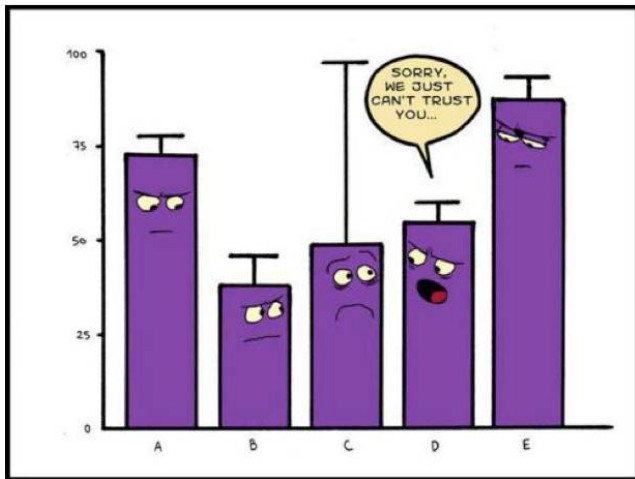
- Monte os circuitos que você esquematizou durante a preparação para o experimento. Note que você irá utilizar um multímetro no modo amperímetro e outro multímetro no modo volímetro.
- **Tenha certeza que a fonte está regulada para tensões pequenas, próximas de zero. Nunca ligue o circuito com a fonte regulada para tensões elevadas porque a corrente pode ser alta e queimar o circuito.**
- De posse das estimativas realizadas meça os vários pontos experimentais (tensão e corrente no resistor) variando a tensão aplicada na fonte. Não esqueça das incertezas das medidas.
- Faça a curva característica apropriada para cada uma das associações.
- Ajuste o modelo teórico aos dados experimentais. O modelo para um resistor ôhmico descreve bem estes dados? A curva característica é uma reta? Como você pode, analisando os dados, verificar isto? como você pode comparar os valores obtidos para as duas associações?
- Meça o valor da resistência com o multímetro Tektronix DMM 4050. Compare o valor medido com os obtidos das curvas características.
- Mais detalhes no roteiro do experimento no site

## 1 Experimento

- Experimento I
- Conceitos importantes
- Curvas características
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo



Revido alguns conceitos sobre incertezas

## 1 Experimento

- Experimento I
- Conceitos importantes
- Curvas características
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo

# O método científico

- A verificação e falsificação - Einstein: “No amount of experimentation can ever prove me right; a single experiment can prove me wrong.”

[http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_method)

<http://www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/metodocientifico.pdf>



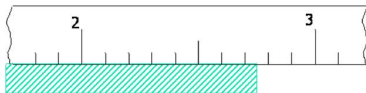
# O método científico

- Uma medida é sempre uma comparação com um padrão
- Sujeita a imperfeições e limitações
- Algarismos significativos
  - ▶ Todos que tenho certeza + primeiro duvidoso (estimado)



# O método científico

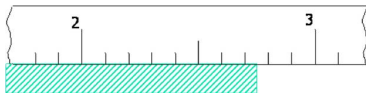
- Uma medida é sempre uma comparação com um padrão
- Sujeita a imperfeições e limitações
- Algarismos significativos
  - ▶ Todos que tenho certeza + primeiro duvidoso (estimado)



$$L = 2,74$$

# O método científico

- Uma medida é sempre uma comparação com um padrão
- Sujeita a imperfeições e limitações
- Algarismos significativos
  - ▶ Todos que tenho certeza + primeiro duvidoso (estimado)

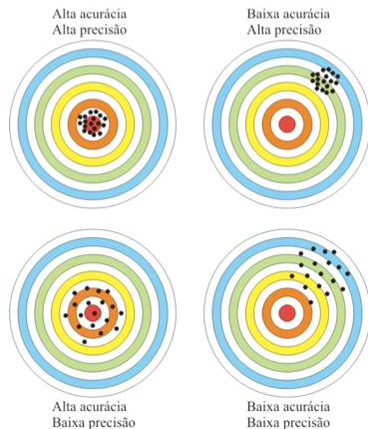


$$L = 2,74$$

- 2 e 7 tenho “certeza”
- 4 é uma estimativa → duvidoso

# Acurácia e precisão

- **Precisão:** Relacionada à flutuação entre uma medida e outra
- **Acurácia:** Quão próximo você está do valor verdadeiro



- **Erro = valor verdadeiro - valor medido**
  - ▶ Toda medida experimental apresenta um erro
  - ▶ O valor do erro não pode ser conhecido
  - ▶ Vamos ver nesse semestre que existem dois tipos de erro, um relacionado à precisão e outro, à acurácia
- **Incerteza = melhor estimativa do valor do erro**

# Representando uma medida

- Faz-se a medida e avalia-se a incerteza
- **Escreve-se a incerteza com, no máximo, 2 algarismos significativos**
- A grandeza acompanha a precisão da incerteza
- Exemplo:
  - ▶ Obtive estes valores na calculadora

$$\text{Tempo médio} = 2,8764536952 \text{ s}$$

$$\text{Incerteza} = 0,0456485323 \text{ s}$$

- ▶ Escrevo o resultado como:

# Representando uma medida

- Faz-se a medida e avalia-se a incerteza
- **Escreve-se a incerteza com, no máximo, 2 algarismos significativos**
- A grandeza acompanha a precisão da incerteza
- Exemplo:
  - ▶ Obtive estes valores na calculadora

$$\text{Tempo médio} = 2,8764536952 \text{ s}$$

$$\text{Incerteza} = 0,0456485323 \text{ s}$$

- ▶ Escrevo o resultado como:

$$\text{Tempo médio} = (2,876 \pm 0,046) \text{ s}$$

ou

$$\text{Tempo médio} = (2,88 \pm 0,05) \text{ s}$$

## 1 Experimento

- Experimento I
- Conceitos importantes
- Curvas características
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo

- Repetição de um experimento como ferramenta de avaliação da sua precisão
- Quanto mais eu repito, mais preciso se torna o valor médio
- Lei dos grandes números: se  $n$  tende ao infinito, o valor médio tende ao valor verdadeiro
  - ▶ Não havendo problemas de acurácia

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

se  $n \rightarrow \infty$ ,  $\bar{y} \rightarrow \tilde{y}$



- Avaliação da flutuação dos dados em torno da média da amostra (por não conhecermos o valor verdadeiro)
- Não reflete problemas de acurácia
- O desvio padrão é o correspondente à incerteza estatística de uma única medida realizada
- Cada medida, além da incerteza instrumental, possui uma incerteza estatística dada pelo desvio padrão

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y})^2} \sim \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

# Desvio padrão da média

- De um conjunto de medidas, obtemos o seu valor médio
- Agora suponha que possamos repetir esse conjunto de medidas  $k$  vezes e, em cada caso, obtém-se um valor médio
- Incerteza estatística (precisão) do **valor médio** de uma amostra

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\bar{y}_i - \tilde{y})^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

## 1 Experimento

- Experimento I
- Conceitos importantes
- Curvas características
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1

## 2 Incertezas

- Representação de uma medida
- Estatística
- Exemplo

# Reverendo a análise de queda livre do Pelletron

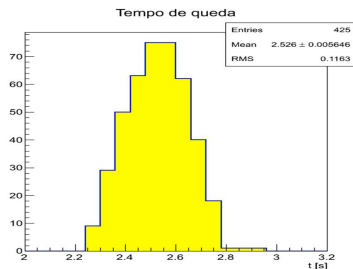
- Medida de tempo de queda de balões de água
- Quase quinhentas medidas
- Análise estatística
- A aceleração obtida é compatível com a gravidade?

$$g_{IAG} = 9.7864 \text{ m/s}^2$$

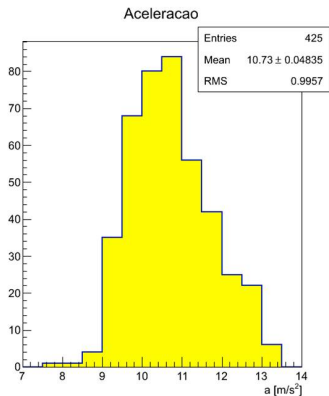
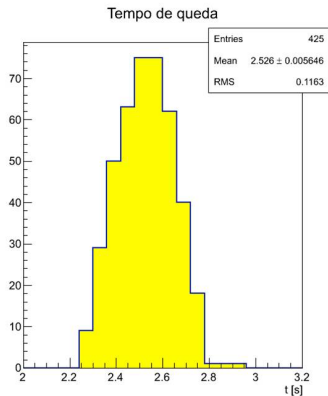


# Medidas realizadas

Medida	Tempo (s)	Aceleração ( $\text{m/s}^2$ )
1	2,46	11,2
2	2,61	9,98
...	...	...
~500	2,73	9,12



# Histogramas



# Desvio padrão das medidas

- O desvio padrão é uma estimativa de quanto cada medida flutua em torno do valor médio da amostra
- Estimativa da incerteza de cada medida

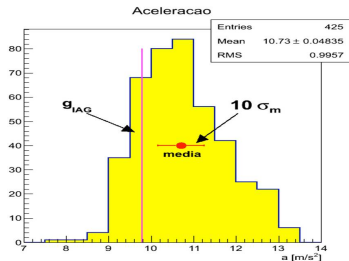
$$\sigma_{tempo} = 0,12 \text{ s}$$

$$\sigma_{acelera} = 1,00 \text{ m/s}^2$$

Medida	Tempo (s)	Aceleração (m/s <sup>2</sup> )
1	2,46	11,2
2	2,61	9,98
...	...	...
~500	2,73	9,12

# Acurácia e precisão da medida

- Os valores de aceleração são precisos e acurados?
- Precisão:**
  - Desvio padrão:  $\sigma_{acel} = 1 \text{ m/s}^2$
  - $\sim 10 \%$  do valor de  $g$
  - $g_{IAG} = 9,7864 \text{ m/s}^2$
  - $g_{medio} = 10,73 \pm 0,05 \text{ m/s}^2$



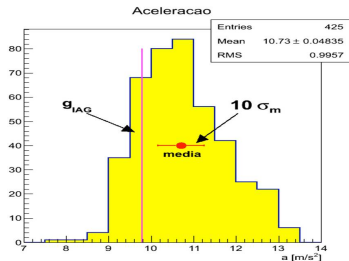


# Acurácia e precisão da medida

- Os valores de aceleração são precisos e acurados?
- **Precisão:**
  - ▶ Desvio padrão:  $\sigma_{acel} = 1 \text{ m/s}^2$
  - ▶  $\sim 10 \%$  do valor de  $g$
  - ▶  $g_{IAG} = 9,7864 \text{ m/s}^2$
  - ▶  $g_{medio} = 10,73 \pm 0,05 \text{ m/s}^2$

- **Acurácia:**

$$\frac{g_{medio} - g_{IAG}}{\sigma_m} = 19$$



- Como investigar a diferença entre o valor médio e o valor do IAG?
- **Hipóteses teóricas**
  - ▶ Desprezamos a resistência do ar
    - ★ Se fosse importante iria diminuir a aceleração e não aumentar

- Como investigar a diferença entre o valor médio e o valor do IAG?

- **Hipóteses teóricas**

- ▶ Desprezamos a resistência do ar
  - ★ Se fosse importante iria diminuir a aceleração e não aumentar
- ▶ Velocidade inicial diferente de zero
  - ★ Equação horária

$$y = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

- ★ Para a aceleração ser igual ao valor do IAG, teríamos que ter

$$v_0 = 1,1 \text{ m/s}$$

- ★ Valor muito elevado se comparado ao método utilizado para lançar as bolas

- Como investigar a diferença entre o valor médio e o valor do IAG?

- **Hipóteses teóricas**

- ▶ Desprezamos a resistência do ar
  - ★ Se fosse importante iria diminuir a aceleração e não aumentar
- ▶ Velocidade inicial diferente de zero
  - ★ Equação horária

$$y = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

- ★ Para a aceleração ser igual ao valor do IAG, teríamos que ter

$$v_0 = 1,1 \text{ m/s}$$

- ★ Valor muito elevado se comparado ao método utilizado para lançar as bolas
- ▶ A revisão das hipóteses teóricas não parece resolver a discrepância

- Como investigar a diferença entre o valor médio e o valor do IAG?
- **Rever o procedimento experimental**
  - ▶ O disparo do cronômetro foi auditivo
    - ★ Som tem velocidade de  $\sim 340$  m/s
    - ★ Torre tem altura de 34 metros
    - ★ Ouvimos o som 0,1 segundo depois que a bola começa a cair

- Como investigar a diferença entre o valor médio e o valor do IAG?
- **Rever o procedimento experimental**
  - ▶ O disparo do cronômetro foi auditivo
    - ★ Som tem velocidade de  $\sim 340$  m/s
    - ★ Torre tem altura de 34 metros
    - ★ Ouvimos o som 0,1 segundo depois que a bola começa a cair
    - ★ Ou seja, o tempo medido é sistematicamente menor que o tempo de queda por aproximadamente 0,1 segundo
    - ★ O que acontece se somarmos 0,1 segundo em todos os tempos de queda?

# Tentando corrigir problemas de acurácia

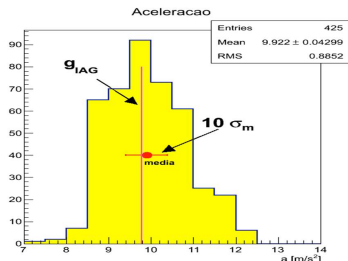
- Acrescentando 0,1 segundo em todos os tempos

- **Precisão:**

- ▶ Desvio padrão:  $\sigma_{acel} = 0,9$  m/s<sup>2</sup>
- ▶  $\sim 10\%$  do valor de  $g$
- ▶  $g_{IAG} = 9,7864$  m/s<sup>2</sup>
- ▶  $g_{medio} = 9,92 \pm 0,04$  m/s<sup>2</sup>

- **Acurácia:**

$$\frac{g_{medio} - g_{IAG}}{\sigma_m} = 3$$



- A repetição exaustiva do experimento permitiu realizar uma análise estatística que evidenciava um problema no procedimento adotado para analisar os dados
- Isso só foi possível porque essa repetição permitiu avaliar as incertezas envolvidas, principalmente a incerteza na aceleração medida
- Em muitas situações não podemos repetir o experimento à exaustão
  - ▶ custa caro, leva muito tempo, etc.
- Como proceder se fizemos apenas uma medida de tempo?
- Qual a incerteza no tempo e aceleração?



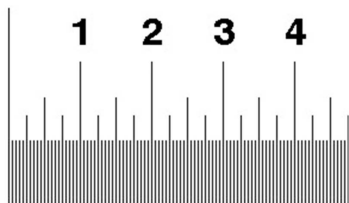
# E se não for possível repetir?

- Nas medidas diretas, tente estimar qual seria a flutuação obtida caso você repetisse o experimento



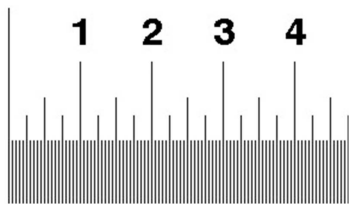
# E se não for possível repetir?

- Nas medidas diretas, tente estimar qual seria a flutuação obtida caso você repetisse o experimento
- Em instrumentos com escalas simples desenhadas, como réguas, em geral utiliza-se metade da menor divisão



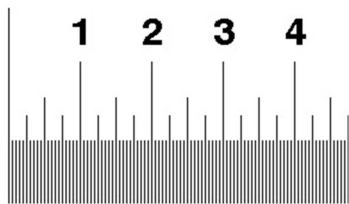
# E se não for possível repetir?

- Nas medidas diretas, tente estimar qual seria a flutuação obtida caso você repetisse o experimento
- Em instrumentos com escalas simples desenhadas, como réguas, em geral utiliza-se metade da menor divisão
- Para instrumentos digitais a acurácia é fornecida no manual do instrumento



# E se não for possível repetir?

- Nas medidas diretas, tente estimar qual seria a flutuação obtida caso você repetisse o experimento
- Em instrumentos com escalas simples desenhadas, como réguas, em geral utiliza-se metade da menor divisão
- Para instrumentos digitais a acurácia é fornecida no manual do instrumento
- Avalie a precisão humana
  - ▶ Por exemplo, o tempo de reação para disparar e parar um cronômetro



# E se não for possível repetir?

- Nas medidas diretas, tente estimar qual seria a flutuação obtida caso você repetisse o experimento
- Em instrumentos com escalas simples desenhadas, como réguas, em geral utiliza-se metade da menor divisão
- Para instrumentos digitais a acurácia é fornecida no manual do instrumento
- Avalie a precisão humana
  - ▶ Por exemplo, o tempo de reação para disparar e parar um cronômetro
- E grandezas derivadas?
  - ▶ Propagação de incertezas

