

# Introdução às Medidas em Física 4300152

*DISCIPLINA OFERECIDA REMOTAMENTE*

1

## Atividades

### Experimentos

7 experiências – Atividades

Exercícios - individual (casa)

Guias/relat - grupo (casa)

Provas - 2 provas: Individualizar notas

Prova 1: 4 primeiras experiências

Prova 2: Todos os experimentos

## PLANEJAMENTO INICIAL

|           | Quinta Feia (tarde e noite)      | Sexta Feia (manhã e noite)       | Relatório    |
|-----------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|
| Fevereiro | 27-02-2020 - Aula 1 - EXP 1-1    | 28-02-2020 - Aula 1 - EXP 1-1    |              |
| Março     | 05-03-2020 - Aula 2 - EXP 1-2    | 06-03-2020 - Aula 2 - EXP 1-2    | Entrega R1-1 |
|           | 12-03-2020 - Aula 3 - EXP 2-1    | 13-03-2020 - Aula 3 - EXP 2-1    | Entrega R1-2 |
|           | 19-03-2020 - Aula 4 - EXP 2-2    | 20-03-2020 - Aula 4 - EXP 2-2    | Entrega R2-1 |
|           | 26-03-2020 - Aula 5 - EXP 3      | 27-03-2020 - Aula 5 - EXP 3      | Entrega R2-2 |
| Abril     | 02-04-2020 - Aula 6 - EXP 4-1    | 03-04-2020 - Aula 6 - EXP 4-1    | Entrega R3   |
|           | SEMANA SANTA - Não haverá aula   | SEMANA SANTA - Não haverá aula   | Entrega R4-1 |
|           | 16-04-2020 - Aula 7 - EXP 4-2    | 17-04-2020 - Aula 7 - EXP 4-2    |              |
|           | 23-04-2020 - PROVA 1             | 24-04-2020 - PROVA 1             | Entrega R4-2 |
| Maio      | 1o de maio - Não haverá aula     | 1o de maio - Não haverá aula     |              |
|           | 07-05-2020 - Aula 8 - EXP 5-1    | 08-05-2020 - Aula 8 - EXP 5-1    |              |
|           | 14-05-2020 - Aula 9 - EXP 5-2    | 15-05-2020 - Aula 9 - EXP 5-2    |              |
|           | 21-05-2020 - Aula 10 - EXP 6     | 22-05-2020 - Aula 10 - EXP 6     | Entrega R5   |
|           | 28-05-2020 - Aula 11 - EXP 7-1   | 29-05-2020 - Aula 11 - EXP 7-1   | Entrega R6   |
| Junho     | 04-06-2020 - Aula 12 - EXP 7-2   | 05-06-2020 - Aula 12 - EXP 7-2   |              |
|           | Corpus Christi - Não haverá aula | Corpus Christi - Não haverá aula | Entrega R7   |
|           | 18-06-2020 - PROVA 2             | 19-06-2020 - PROVA 2             |              |

2

## Experimentos

|               |                                                   |
|---------------|---------------------------------------------------|
| Experimento 1 | Calibração de medidas e Pêndulo simples (2 aulas) |
| Experimento 2 | Densidade de Sólidos (2 aulas)                    |
| Experimento 3 | Distância focal de uma lente (1 aula)             |
| Experimento 4 | Queda livre (2 aulas)                             |
| Experimento 5 | Curvas características (2 aulas)                  |
| Experimento 6 | Resfriamento de um líquido (1 aula)               |
| Experimento 7 | Cordas vibrantes (2 aulas)                        |

3

## Experimentos

|               |                                                     |
|---------------|-----------------------------------------------------|
| Experimento 1 | Calibração de medidas e Pêndulo simples (2 aulas) ✓ |
| Experimento 2 | Densidade de Sólidos (2 aulas) ✓                    |
| Experimento 3 | <del>Distância focal de uma lente (1 aula)</del>    |
| Experimento 4 | Queda livre (2 aulas)                               |
| Experimento 5 | Curvas características (2 aulas)                    |
| Experimento 6 | <del>Resfriamento de um líquido (1 aula)</del>      |
| Experimento 7 | Cordas vibrantes (2 aulas)                          |

4

## Atividades e Cronograma

**Dinâmica do curso** { **para cada experimento: 1 aula de teoria e 1 de atividades;**  
**1 relatório entregue pelo e-disciplinas (grupo) e**  
**1 lista de exercícios online no e-disciplinas (individual)**  
**cada 2 ou 3 experimentos: 1 prova online (individual)**

Todo o material didático estará disponível no e-disciplinas  
 Aulas remotas, síncronas, usando plataforma Zoom  
 Aulas teóricas serão gravadas e disponibilizadas no e-disciplinas  
 Gráficos serão feitos com software específico  
 Relatórios curtos, seguindo o guia e material do e-disciplinas, com breve introdução, apresentação de dados e de resultados, discussão/ conclusões.  
 Relatórios, com planilhas de cálculo, entregas e correções pelo e-disciplinas  
 Provas online pelo e-disciplinas – 3h para fazer a prova em um intervalo de tempo de 48h.

### Recomendações

usem o tempo entre a aula teórica e a aula de atividades para analisar os dados, obter resultados, fazer gráficos etc e TRAGAM DÚVIDAS para a aula de atividades.  
**FAÇAM OS EXERCÍCIOS ONLINE**

Use o Fórum de Dúvidas

5

| Experimento                                                   | Atividades                      | Avaliação                                                   |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Volume e densidade de Cilindros                               | 14/01/21 - Aula teórica 1       | 14-18h e 19-23h                                             |
|                                                               | 15/01/21 - Aula teórica 1       | 08-12h                                                      |
|                                                               | 21/01/21 - Aula de atividades 1 | 14-18h e 19-23h                                             |
|                                                               | 22/01/21 - Aula de atividades 1 | 08-12h                                                      |
| Queda Livre                                                   | 28/01/21 - Aula teórica 2       | 14-18h e 19-23h                                             |
|                                                               | 29/01/21 - Aula teórica 2       | 08-12h                                                      |
|                                                               | 04/02/21 - Aula de atividades 2 | 14-18h e 19-23h                                             |
| 05/02/21 - Aula de atividades 2                               | 08-12h                          | Entrega de relatório até 12/2<br>Exercícios online até 10/2 |
| Pêndulo Simples; Volume e Densidade de cilindros; Queda Livre | 17 a 19/2 – PROVA 1             | 3h para fazer, no período indicado                          |
| Curvas características                                        | 11/02/21 - Aula teórica 3       | 14-18h e 19-23h                                             |
|                                                               | 12/02/21 - Aula teórica 3       | 08-12h                                                      |
|                                                               | 18/02/21 - Aula de atividades 3 | 14-18h e 19-23h                                             |
|                                                               | 19/02/21 - Aula de atividades 3 | 08-12h                                                      |
| Cordas Vibrantes                                              | 25/02/21 - Aula teórica 4       | 14-18h e 19-23h                                             |
|                                                               | 26/02/21 - Aula teórica 4       | 08-12h                                                      |
|                                                               | 04/03/21 - Aula de atividades 4 | 14-18h e 19-23h                                             |
|                                                               | 05/03/21 - Aula de atividades 4 | 08-12h                                                      |
| Curvas Características; Cordas Vibrantes                      | 10 a 12/3 – PROVA 2             | 3h para fazer, no período indicado                          |

6

## Equipe

| Turmas                       |                                                            |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Quintas 14-18h               | Elisabeth Mateus Yoshimura<br>Marli Cantarino              |
| Quintas 19-23h               | Alexsandro Kirch<br>Luan Santos Lima                       |
| Sextas 8-12h                 | Alexandre Cândido Teixeira<br>Danilo Mustafa (coordenador) |
| Monitor para todas as turmas | Leonardo de Oliveira Santos                                |

7

## Cálculo da média

- Notas dos relatórios dos 4 experimentos remotos:  $R_{\text{expi}}$ ,  $i = 1, 2..4$
- Notas dos exercícios online:  $Ex_i$ ,  $i=1, 2..4$
- Nota das atividades:  $R_i = 0,9 R_{\text{expi}} + 0,1Ex_i$
- Média das atividades:  $R = (R_0 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 - R_{\text{mín}})/4$
- Média das Provas:  $P = (P_1 + P_2)/2$
- Média na disciplina:  $M = (2 \cdot R + 1 \cdot P)/3$
- Se  $M \geq 5$ : Aprovado

- $R_0$  é a nota já composta (relatórios e exercícios online) para o experimento do pêndulo realizado presencialmente no início da disciplina em 2020.
- $R_1$  é a nota do experimento de densidades, levando em conta as etapas realizadas em 2020 e em 2021.
- Para o cálculo da média das atividades ( $R$ ) é subtraída a nota de atividade mais baixa ( $R_{\text{mín}}$ ).

8

## Incertezas instrumentais

### Análise do instrumento de medida

identificação do tipo e funcionamento

### Fundo de escala e unidade

seleção conveniente

### Precisão e incerteza da medida

Escala simples, situações boas de medida: incerteza  $\sim$  metade da menor divisão

Digital: pelo menos a resolução (menor valor medido)

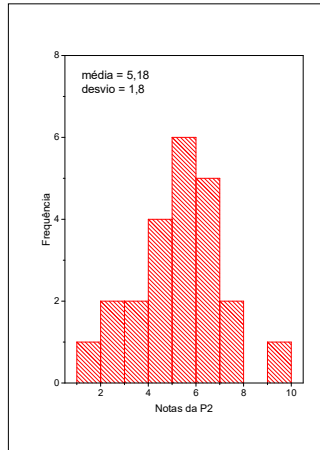
9

## Incerteza devido ao método

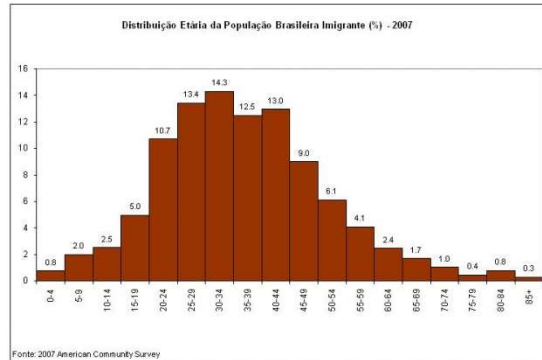
- Erros Estatísticos ou Aleatórios:
  - Resultam de variações aleatórias no resultado da medição devido a fatores que não podem ser controlados;
  - A estimativa desse erro é chamada de incerteza estatística;
  - Essa incerteza é obtida por métodos estatísticos, como o desvio padrão da média.
- Há uma distribuição de valores medidos, concentrados em um intervalo
- Há várias distribuições possíveis de valores medidos
- Grandezas físicas sujeitas a erros aleatórios costumam se distribuir de forma simétrica próxima a uma gaussiana (distribuição normal ou de Gauss)

10

# Incerteza devido ao método como apresentar resultados?

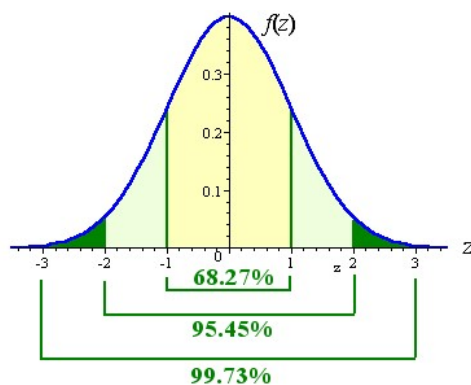


Histogramas  
frequência absoluta ou  
relativa



11

# Interpretação de distribuições de valores - probabilidades



$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Distribuição normal  
 $z = (x - m)/s$

12

## Compondo Incertezas de Método e de Instrumento

- São independentes (embora a do instrumento deva ser pequena para que a do método (estatístico) “apareça”)
- Ambas são avaliações do erro da medida (diferença entre valor verdadeiro e valor medido)

$$\sigma_{L_{final}} = \sqrt{\sigma_{L_{instr}}^2 + \sigma_{L_{método}}^2} = \sqrt{\sigma_{L_{instr}}^2 + \sigma_{L_{estatístico}}^2}$$

- Exemplos no pêndulo:

$$23,08s \quad s_m = 0,05s \quad \text{e} \quad \sigma_{instr} = 0,01s$$

$$\sigma_{final} = \sqrt{0,05^2 + 0,01^2} = 0,05s$$

$$23,34s \quad s_m = 0s \quad \text{e} \quad \sigma_{instr} = 1s$$

$$\sigma_{final} = \sqrt{0,0^2 + 1^2} = 1s$$

13

## Qual é a incerteza de uma medida?

Várias medidas do tamanho de uma mesa com uma régua

$$\sigma_{L_{instr}} = 0,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{L_{estat}}$$

$$\sigma_{L_{final}}^2 = \sigma_{L_{instr}}^2 + \sigma_{L_{estat}}^2 \quad (\text{Combinação quadrática dos erros})$$

Caso um tipo de incerteza seja dominante, pode-se desprezar a outra.

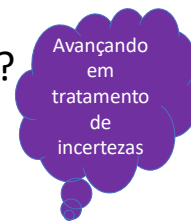
**Período do pêndulo medido com o relógio de precisão 1s**  
**Incerteza instrumental > estatística**

**Período do pêndulo medido com cronômetro de 0,01s**  
**Incerteza estatística > instrumental**

14

## Experiência Densidade de Sólidos

- **Objetivos**
  - Medidas indiretas
    - Medida da densidade de sólidos
  - Incertezas
    - Propagação de Incertezas
    - Compatibilidade entre medidas
  - Responder a perguntas: são iguais?  
São compatíveis?



15

## Medida da Densidade de Sólidos

- **Objetivo**
  - Identificar os diferentes tipos de plásticos que compõem um conjunto de objetos
- **Identificação**
  - Comparação das medidas (e incertezas) com valores tabelados de diferentes tipos de plásticos
- **Densidade (materiais sólidos homogêneos)**
  - $d = m/V$ 
    - Necessário medir a massa e o volume do objeto

16



## Cálculo da densidade

- A densidade é dada por:  $d = \frac{m}{V}$

onde, o volume  $V$  é:

$$V = \pi H r^2 = \pi H \frac{D^2}{4}$$

e  $m$ ,  $H$  e  $D$  são, respectivamente, a massa, a altura e o diâmetro do cilindro.

17

## Sequência de trabalho já realizado

- Medidas das dimensões de 4 ou 5 cilindros pelos diversos grupos, sendo os sólidos de cada grupo construídos de mesmo material;
- **Situação 1**
  - dimensões dos cilindros (altura e diâmetro) medidos com régua. Anotar nas tabelas.
  - massas dos cilindros medidos com balança digital da sala (décimo de grama)
- **Situação 2**
  - massas dos cilindros medidos com balança analítica da sala de técnicos do Didático (décimo de miligrama)

18

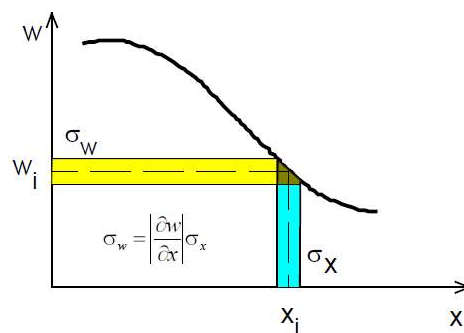
## Sequência de trabalho análise de dados

Propagação de incertezas

- Cálculo dos volumes dos sólidos
- Cálculo da **incerteza dos volumes** dos sólidos:
  - Como varia o volume se a **altura** muda dentro do intervalo de incerteza?
  - Como varia o volume se o **diâmetro** muda dentro do intervalo de incerteza?
  - Como juntar as duas variações?
- Como obter a incerteza da densidade, conhecendo as incertezas da massa e do volume?
- Comparar valores de densidade

19

## Propagação de Incertezas



20

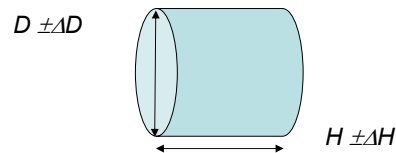
## Propagação de incerteza

Se uma grandeza depende de outras duas medidas, como por exemplo, na medida do volume de um cilindro? O que fazer?

O volume de um cilindro é dado por:

$$V = \pi (D/2)^2 H$$

onde,  $D$  é o diâmetro do cilindro e  $H$  a sua altura ambos com incerteza



21

## Propagação de incerteza

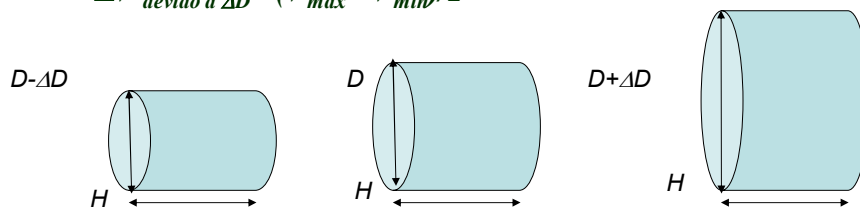
Neste caso iremos calcular a incerteza no volume devido a **incerteza no diâmetro** e a incerteza no volume devido a **incerteza na altura** e depois combinar as duas incertezas.

Incerteza no volume devido a incerteza no diâmetro:

$$V_{max} \text{ (devido a } \Delta D) = \pi [(D + \Delta D)/2]^2 H$$

$$V_{min} \text{ (devido a } \Delta D) = \pi [(D - \Delta D)/2]^2 H$$

$$\Delta V_{\text{ devido a } \Delta D} = (V_{max} - V_{min})/2$$



22

## Propagação de incerteza

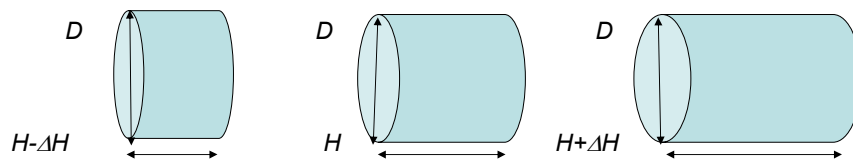
Neste caso iremos calcular a incerteza no volume devido a incerteza no diâmetro e a incerteza no volume devido a incerteza na altura e depois combinar as duas incertezas.

**Incerteza no volume devido a incerteza na altura:**

$$V_{max} \text{ (devido a } \Delta H) = \pi(D/2)^2(H+\Delta H)$$

$$V_{min} \text{ (devido a } \Delta H) = \pi(D/2)^2(H-\Delta H)$$

$$\Delta V_{\text{ devido a } \Delta H} = (V_{max} - V_{min})/2$$

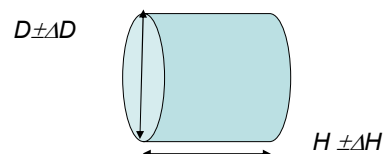


23

## Propagação de incerteza

E combinamos as duas incertezas com uma soma quadrática. Fazemos isso pois assumimos que a medida do diâmetro é independente da medida da altura:

$$\Delta V^2 = (\Delta V_{\text{ devido a } \Delta D})^2 + (\Delta V_{\text{ devido a } \Delta H})^2$$



24

## 1ª estimativa da incerteza do volume do cilindro

Mesmo cientes que a contribuição das incertezas do diâmetro e altura são independentes, nesta primeira avaliação calcularemos a incerteza do volume do cilindro ( $\Delta V$ ) como a propagação simultânea dos valores das incertezas do diâmetro e da altura :

Isso foi feito no experimento até aqui. Vamos estender esse conceito de propagação, fazendo cálculos mais realistas para a incerteza propagada.

$$\Delta V = \frac{V_{max} - V_{min}}{2} = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{(D + \Delta D)^2 (H + \Delta H) - (D - \Delta D)^2 (H - \Delta H)}{2} \right]$$

25

## Propagação da incerteza variáveis independentes

Supondo  $f(x)$  uma **Medida Indireta** (função de uma medida direta)

$$\begin{cases} f(x_{max}) = f(X + \Delta X) \\ f(x_{min}) = f(X - \Delta X) \end{cases}$$

$$\Delta f(x) = \frac{f(x_{max}) - f(x_{min})}{2} \quad (\text{Incerteza da medida de } f(X) \text{ devido à incerteza de } X)$$

$$\Delta f(x) = \frac{f(X + \Delta X) - f(X - \Delta X)}{2}$$

Multiplicando por:  $\frac{\Delta X}{\Delta X}$

26

$$\Delta f(x) = \left[ \frac{f(x + \Delta X) - f(x - \Delta X)}{2\Delta X} \right] \Delta X$$

Utilizando a definição de derivada:

$$\frac{df}{dx} = \lim_{\Delta X' \rightarrow 0} \left[ \frac{f(x + \Delta X') - f(x - \Delta X')}{2\Delta X'} \right]$$

Temos:

$$\Delta f(x) = \frac{df(x)}{dx} \Delta X \quad (\text{para } \Delta X \text{ muito pequeno})$$

Se  $f = f(x, y, z, \dots)$  **função de várias medidas diretas**, então:

$$\Delta_X f(x, y, z, \dots) = \frac{\partial f(x, y, z, \dots)}{\partial x} \Delta X$$

27

Onde:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial f(x, y, z, \dots)}{\partial x} \rightarrow \text{É a derivada parcial de } f(x, y, z, \dots) \text{ em} \\ \text{relação a } X. \\ \Delta X \rightarrow \text{É a incerteza da grandeza } X. \end{array} \right.$$

- Como a incerteza total de uma medida indireta é a combinação quadrática das incertezas das grandezas associadas **obtidas de maneira independente**, temos:

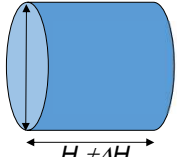
$$\Delta f(x, y, z, \dots) = \sqrt{(\Delta_X f(x, y, z, \dots))^2 + (\Delta_Y f(x, y, z, \dots))^2 + \dots}$$

Portanto:

$$\Delta f(x, y, z, \dots) = \sqrt{\left( \frac{\partial f(x, y, z, \dots)}{\partial x} \right)^2 \Delta X^2 + \left( \frac{\partial f(x, y, z, \dots)}{\partial y} \right)^2 \Delta Y^2 + \dots}$$

28

## Propagação da incerteza para o volume do cilindro



$D \pm \Delta D$

$H \pm \Delta H$

$$V = \pi r^2 H = \pi \frac{D^2}{4} H \rightarrow V = f(D, H)$$

Portanto:

$$\Delta V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial H}\right)^2 (\Delta H)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial D}\right)^2 (\Delta D)^2}$$

Substituindo as derivadas:

$$\Delta V = \sqrt{\left(\frac{\pi \bar{D}^2}{4}\right)^2 (\Delta \bar{H})^2 + \left(\frac{\pi \bar{D} \bar{H}}{2}\right)^2 (\Delta \bar{D})^2}$$

$\bar{D}$  é o valor médio do diâmetro  
 $\bar{H}$  é o valor médio da altura  
 $\Delta \bar{D}$  e  $\Delta \bar{H}$  são suas incertezas

29

$$\Delta V = \sqrt{\left(\frac{\pi \bar{D}^2}{4}\right)^2 (\Delta \bar{H})^2 + \left(\frac{\pi \bar{D} \bar{H}}{2}\right)^2 (\Delta \bar{D})^2}$$

Ou, simplificando:

$$\Delta V = V \sqrt{\left(\frac{2\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2}$$

**Comparando com a feita anteriormente:**

$$\Delta V = \frac{V_{max} - V_{mi}}{2} = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{(D + \Delta D)^2 (H + \Delta H) - (D - \Delta D)^2 (H - \Delta H)}{2} \right]$$

30

## Mesmo raciocínio para a densidade

$$d = \frac{m}{V}$$

$$\frac{\partial d}{\partial m} = \frac{1}{V}$$

$$\frac{\partial d}{\partial V} = \frac{-m}{V^2}$$

$$\Delta d = \sqrt{\left(\frac{1}{V}\right)^2 \Delta m^2 + \left(\frac{-m}{V^2}\right)^2 \Delta V^2}$$

Ou, simplificando:

$$\Delta d = d \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2}$$

Cálculo Anterior:  $\Delta d = \frac{d_{max} - d_{mi}}{2} = \frac{1}{2} \left[ \frac{(m + \Delta m)}{(V - \Delta V)} - \frac{(m - \Delta m)}{(V + \Delta V)} \right]$

31

## Incertezas Relativas

As expressões abaixo nada mais são que incertezas relativas

$$\Delta V = V \sqrt{\left(\frac{2\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2} \quad \text{e} \quad \Delta d = d \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{2\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2} \quad \frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2}$$

Sempre que temos variáveis indiretas obtidas por operações como MULTIPLICAÇÃO, DIVISÃO E POTENCIAÇÃO, trabalhar com incertezas relativa ajuda a ter uma visão global sobre a incerteza do experimento.

$$f(x, y, z \dots) = a \frac{x^p}{y^q} z \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta f}{f} = \sqrt{\left(\frac{p\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{q\Delta y}{y}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{z}\right)^2 + \dots}$$

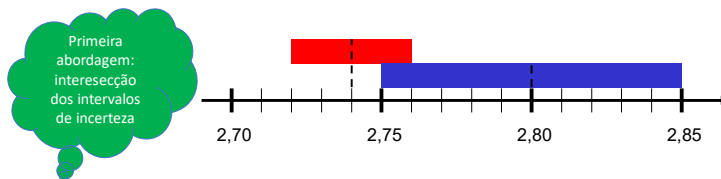
Onde:  $a$  é constante e  $p$  e  $q$  racionais

32



## Como comparar os resultados de duas medidas ou comparar a padrão?

- É preciso se levar em consideração sempre a incerteza de medida.
- Como devemos considerar a incerteza, nos perguntamos se as medidas são compatíveis ao invés de “iguais”;
- Por exemplo,  $2,74 \pm 0,02 \text{ mm}$  é compatível com  $2,80 \pm 0,05 \text{ mm}$  ?



33

## Compatibilidade – segunda abordagem

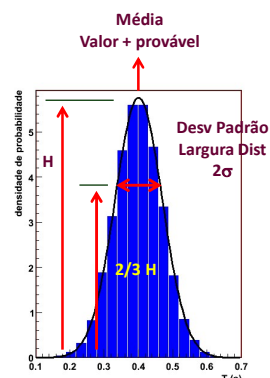
Incerteza define um **Intervalo confiança**

Paralelo com distribuição estatística:

- No intervalo  $[M - \Delta; M + \Delta] \rightarrow 68\%$
- $[M - 2\Delta; M + 2\Delta] \rightarrow 95\%$
- $[M - 3\Delta; M + 3\Delta] \rightarrow 99,9\%$

Nesses intervalos mais largos, não é possível descartar a compatibilidade completamente.

Interpretação estatística com teste Z



34

## Critério para compatibilidade – teste Z



- Superposição em 1 desvio padrão → compatíveis
  - Superposição testada em intervalos mais largos 2 ou 3 desvios padrão: verificam compatibilidade com menor probabilidade.
- Teste Z indica essa probabilidade
  - Comparação entre  $(a \pm \Delta_a)$  e  $(b \pm \Delta_b)$

$$Z = \frac{|a - b|}{\sqrt{\Delta_a^2 + \Delta_b^2}}$$

$0 < Z \leq 1$ , compatíveis dentro de 1 desvio-padrão (68%)  
 $1 < Z \leq 2$ , compatíveis dentro de 2 desvios-padrão (95%)  
 $2 < Z \leq 3$ , compatíveis dentro de 3 desvios-padrão (99,9%)  
 $Z > 3$ , discrepantes ou não compatíveis

35

## Tarefas para esta atividade

- Obter novamente as incertezas dos volumes e das densidades (obtidas com a massa medida na balança analítica), empregando as novas expressões para a propagação de incertezas
- Verificar se os valores para os 4 ou 5 sólidos são compatíveis entre si, usando teste Z, concluindo se podem ou não ser constituídos do mesmo material.
- Comparar a densidade de um dos sólidos com os possíveis plásticos para determinar (ou não) de qual plástico ele foi feito.

36

## Análise de compatibilidade

| Peça | 2       | 3       | 4       | 5       |
|------|---------|---------|---------|---------|
| 1    | Z (1,2) | Z (1,3) | Z (1,4) | Z (1,5) |
| 2    |         | Z (2,3) | Z (2,4) | Z (2,5) |
| 3    |         |         | Z (3,4) | Z (3,5) |
| 4    |         |         |         | Z (4,5) |

37

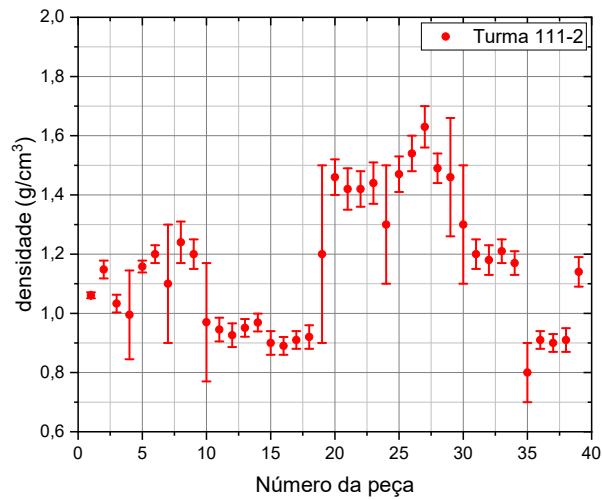
Analisar a compatibilidade da densidade da peça cuja densidade tem a menor incerteza com esses 5 plásticos (incertezas são metade de cada intervalo da tabela)

Tabela de densidade esperada para os plásticos

|                     |                                             |
|---------------------|---------------------------------------------|
| ■ Poliamida (nylon) | $d = 1.09 \text{ a } 1.14 \text{ g/cm}^3$   |
| ■ Polietileno       | $d = 0.941 \text{ a } 0.965 \text{ g/cm}^3$ |
| ■ Polipropileno     | $d = 0.900 \text{ a } 0.915 \text{ g/cm}^3$ |
| ■ Acrílico          | $d = 1.17 \text{ a } 1.20 \text{ g/cm}^3$   |
| ■ PVC               | $d = 1.35 \text{ a } 1.45 \text{ g/cm}^3$   |

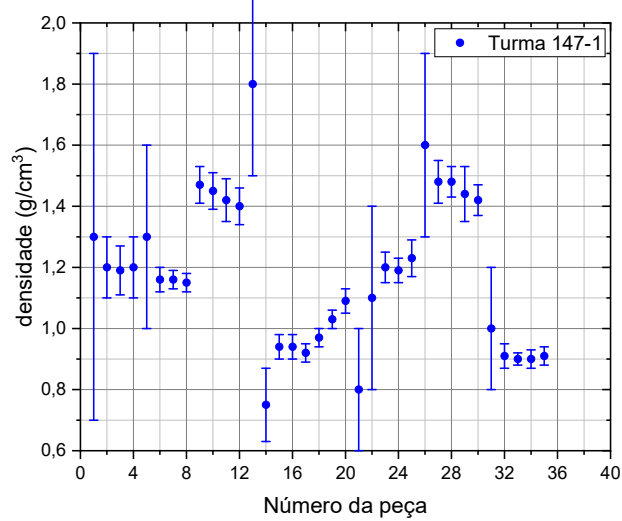
38

## Gráfico com todos os resultados da turma



39

## Gráfico com todos os resultados da turma



40