

FÍSICA EXPERIMENTAL II

Segundo semestre de 2012

[HTTP://DISCIPLINAS.STOA.USP.BR/COURSE/VIEW.PHP?ID=612](http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=612)

AULA I

- Como vai ser a disciplina
 - Equipe, experimentos, avaliação e outras coisas
- Revisão da disciplina anterior
- Propagação de incertezas



PROFESSORES

- Antonio Domingues dos Santos
- Alexandre Correia
- Alexandre Suaide
- Carolina Benetti
- Cristiane Jahnke
- Erich Leistenschneider
- Feliz Hernandez
- José Chubaci
- Leandro Gasques
- Raphael Liguori (coordenador)



ESTAGIÁRIOS

- André Freitas
- Icaro Fernandes (ok)
- Igor Konieczniak (ok)
- Jeferson Silva
- Klara Theophilo (ok)
- Jonathan Baptista (ok)
- Otávio Lopes (ok)
- Tales
- Jéssica Niide (ok)



EXPERIMENTOS

- 4 experimentos em grupos de no máximo 3 pessoas
 - 3 regulares
 - Mecânica
 - Eletricidade
 - Termodinâmica
 - 1 projeto
 - Livre para cada grupo



AValiação

- Nota dos experimentos (em grupo)
 - Relatórios + caderno de dados
 - $M_E = (E_1 + 2E_2 + 2E_3 + 3E_4)/8$
- Provas (individual)
 - Duas provas
 - Semana de 25/9 à 27/9
 - Semana de 27/11 à 29/11
 - $M_P = (P_1 + 2P_2)/3$
- Média final
 - $M = (M_E + M_P) / 2$ se $M_P \geq 3$ e $FREQ > 70\%$
 - $M = M_P$ se $M_P < 3$



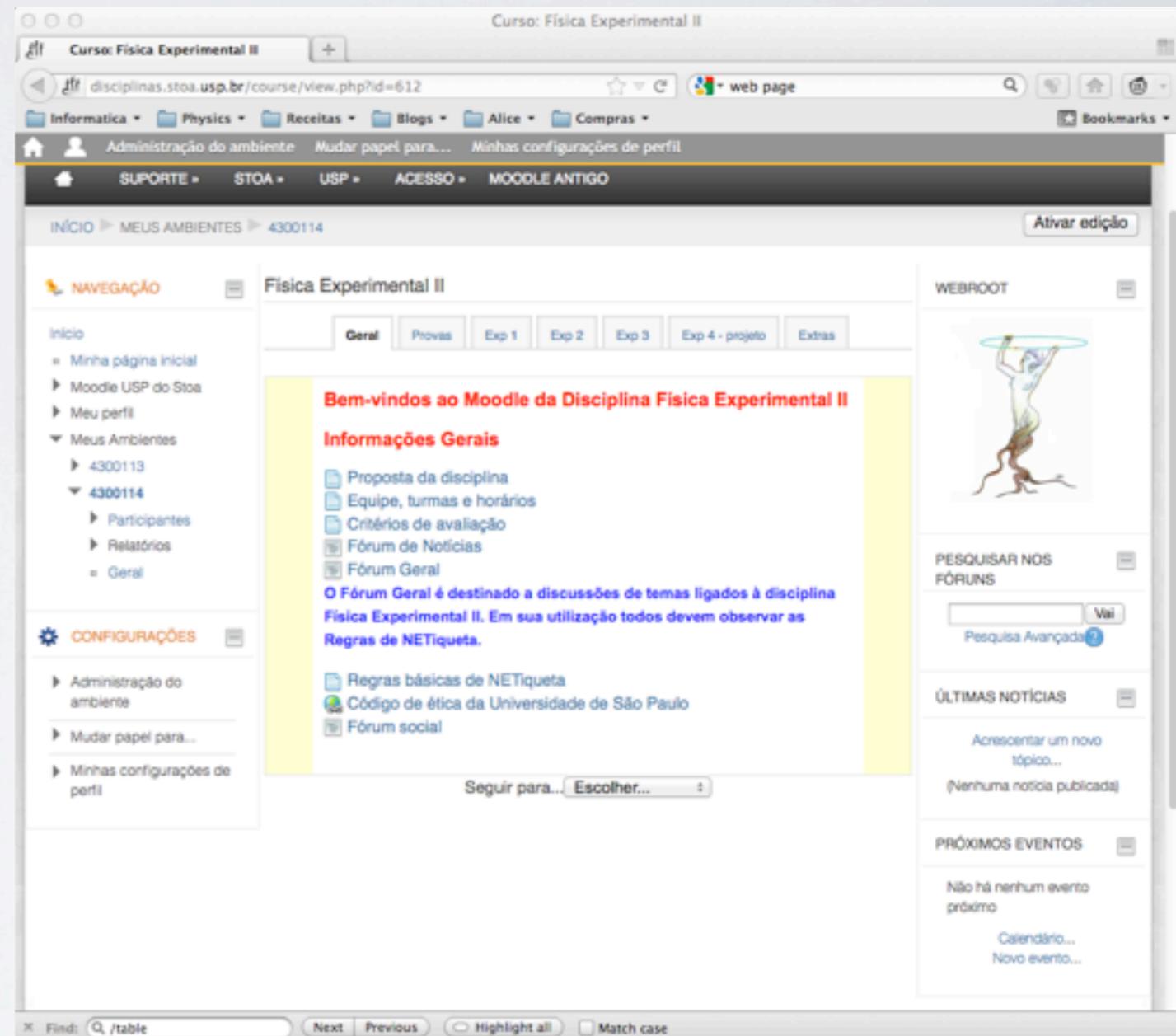
CONTEÚDO

- Formalizar aspectos gerais de análise de dados
 - Aprofundar o método científico
 - Propagação de incertezas
 - Ajustes de funções lineares - método de mínimos quadrados
 - Distribuições de probabilidade
 - Testes de significância
- Redação científica



AVISO IMPORTANTE

- TODOS devem entrar na página da disciplina pelo menos uma vez para efetivar o cadastro
- [HTTP://
DISCIPLINAS.STOA.USP.BR/
COURSE/VIEW.PHP?ID=612](http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=612)



The screenshot shows a web browser window displaying the Moodle course page for "Física Experimental II". The browser's address bar shows the URL "disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=612". The page features a navigation menu on the left with options like "Início", "Meus Ambientes", and "Configurações". The main content area displays a welcome message in red: "Bem-vindos ao Moodle da Disciplina Física Experimental II". Below this, there are links for "Proposta da disciplina", "Equipe, turmas e horários", "Critérios de avaliação", "Fórum de Notícias", and "Fórum Geral". A note states: "O Fórum Geral é destinado a discussões de temas ligados à disciplina Física Experimental II. Em sua utilização todos devem observar as Regras de NETiqueta." There are also links for "Regras básicas de NETiqueta", "Código de ética da Universidade de São Paulo", and "Fórum social". The right sidebar contains sections for "PESQUISAR NOS FÓRUMS", "ÚLTIMAS NOTÍCIAS", and "PRÓXIMOS EVENTOS".

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



FAZENDO UMA MEDIDA

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



$$L = 2,74 \text{ cm}$$

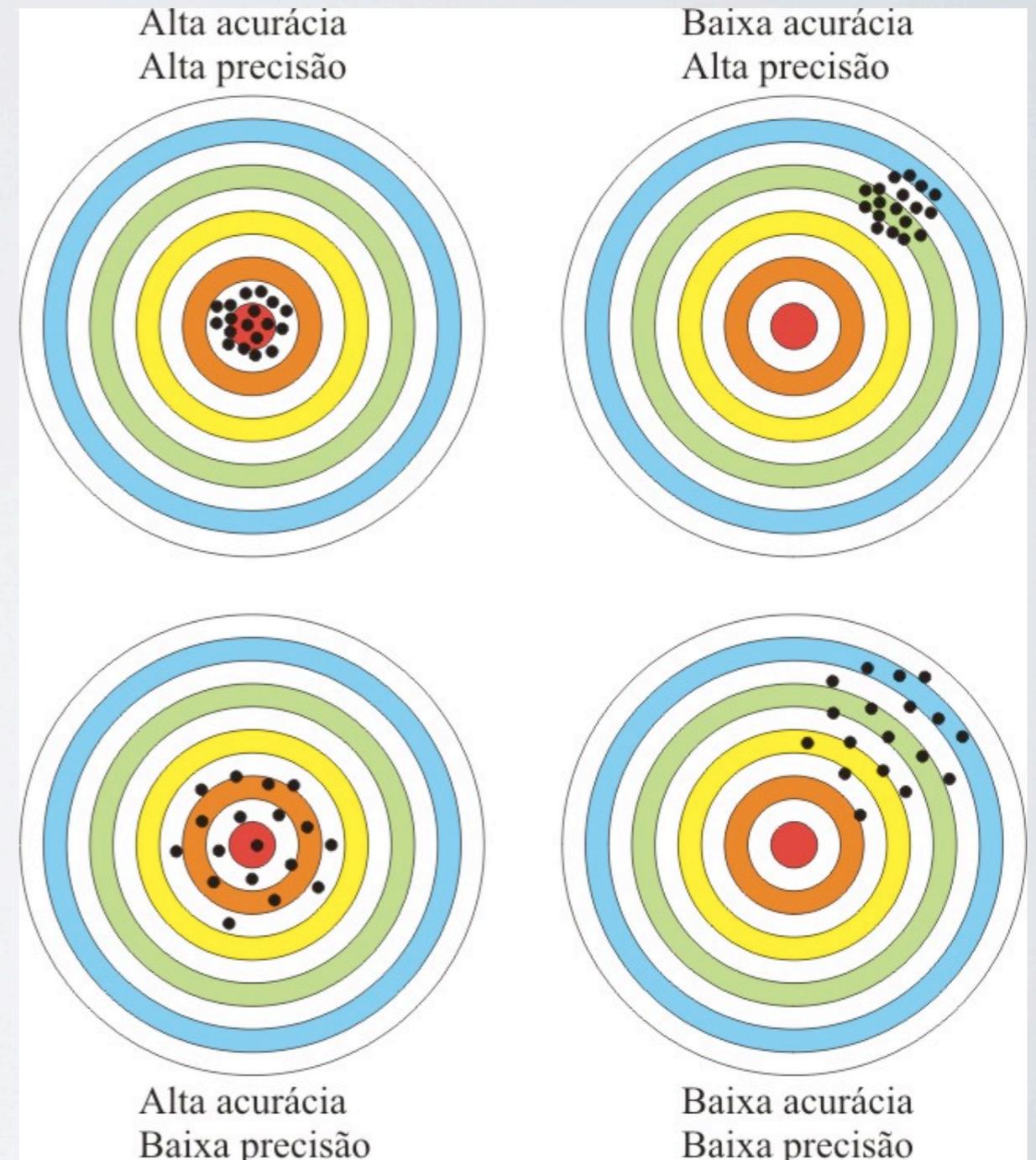
2 e 7 tenho “certeza”

4 é uma estimativa -> duvidoso

LIMITAÇÕES DE UMA MEDIDA

ACURÁCIA E PRECISÃO

- Precisão
 - Relacionada à flutuação entre uma medida e outra
 - Dispersão dos dados
- Acurácia
 - Quão próximo você está do valor verdadeiro



UMA MEDIDA NÃO É ABSOLUTA

ERRO E INCERTEZA

- **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
 - Tempo médio = 2,8764536952 s
 - Incerteza = 0,0456485323 s
 - escrevo o resultado como: **Tempo médio = (2,876 + 0,046) s**

ESTIMANDO INCERTEZAS

ALGUNS CONCEITOS DE ESTATÍSTICA

- **Repetição de um experimento como ferramenta de avaliação da sua precisão**
- Quanto mais eu repito, mais precisa se torna o valor médio
- Lei dos grandes números: se n tende ao infinito, o valor médio tende ao valor verdadeiro

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

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

DESVIO PADRÃO

- **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, obtem-se um valor médio

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

- **Incerteza estatística (precisão) do valor médio de uma amostra**

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

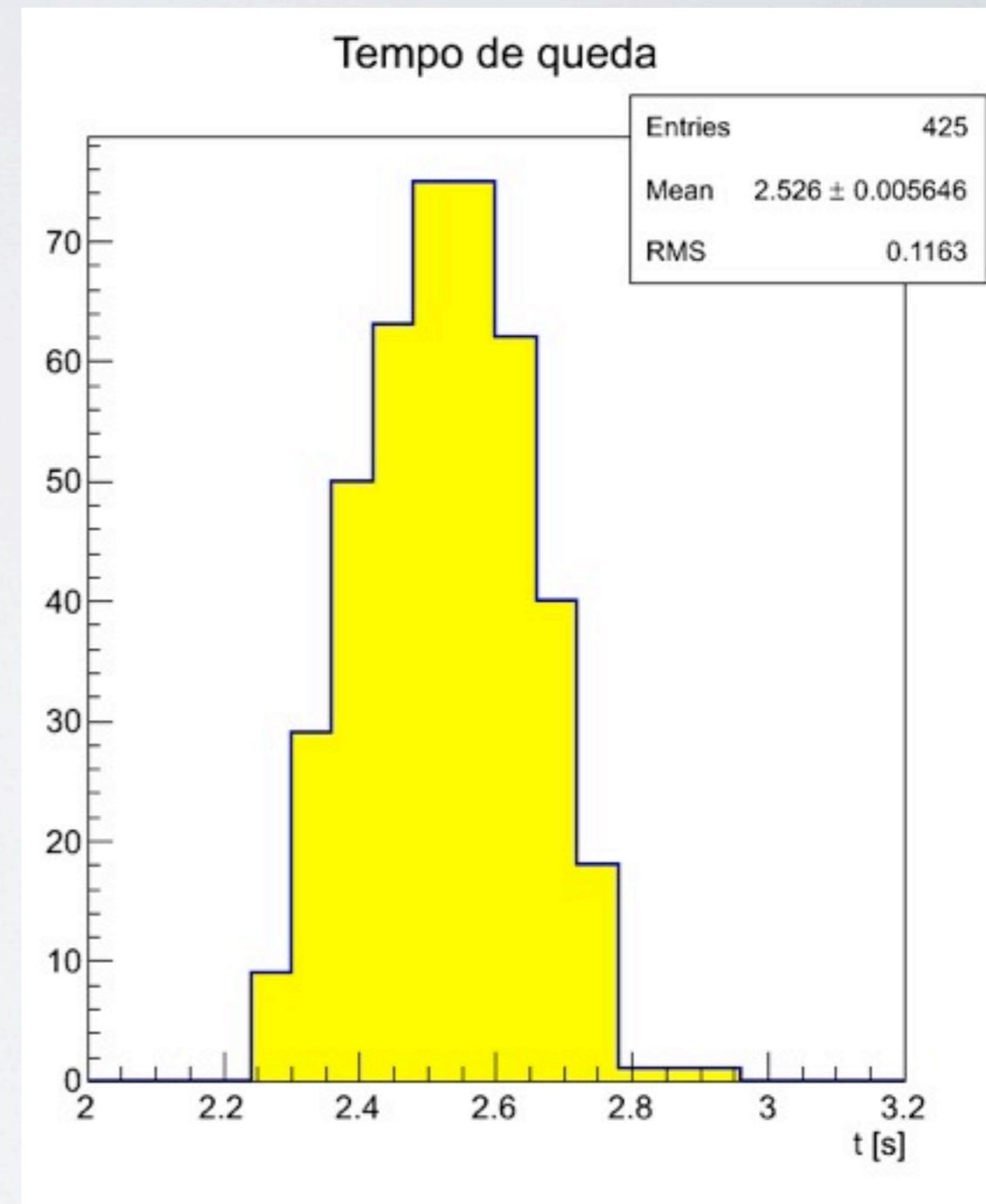
REVENDO UMA ANÁLISE EXPERIMENTO DE QUEDA DO PELLETRON

- Medida de tempo de queda de balões de água
 - Quase quinhentas medidas
 - Análise estatística
- A aceleração obtida é compatível com a gravidade?
 - $g_{IAG} = 9.7864 \text{ m/s}^2$.



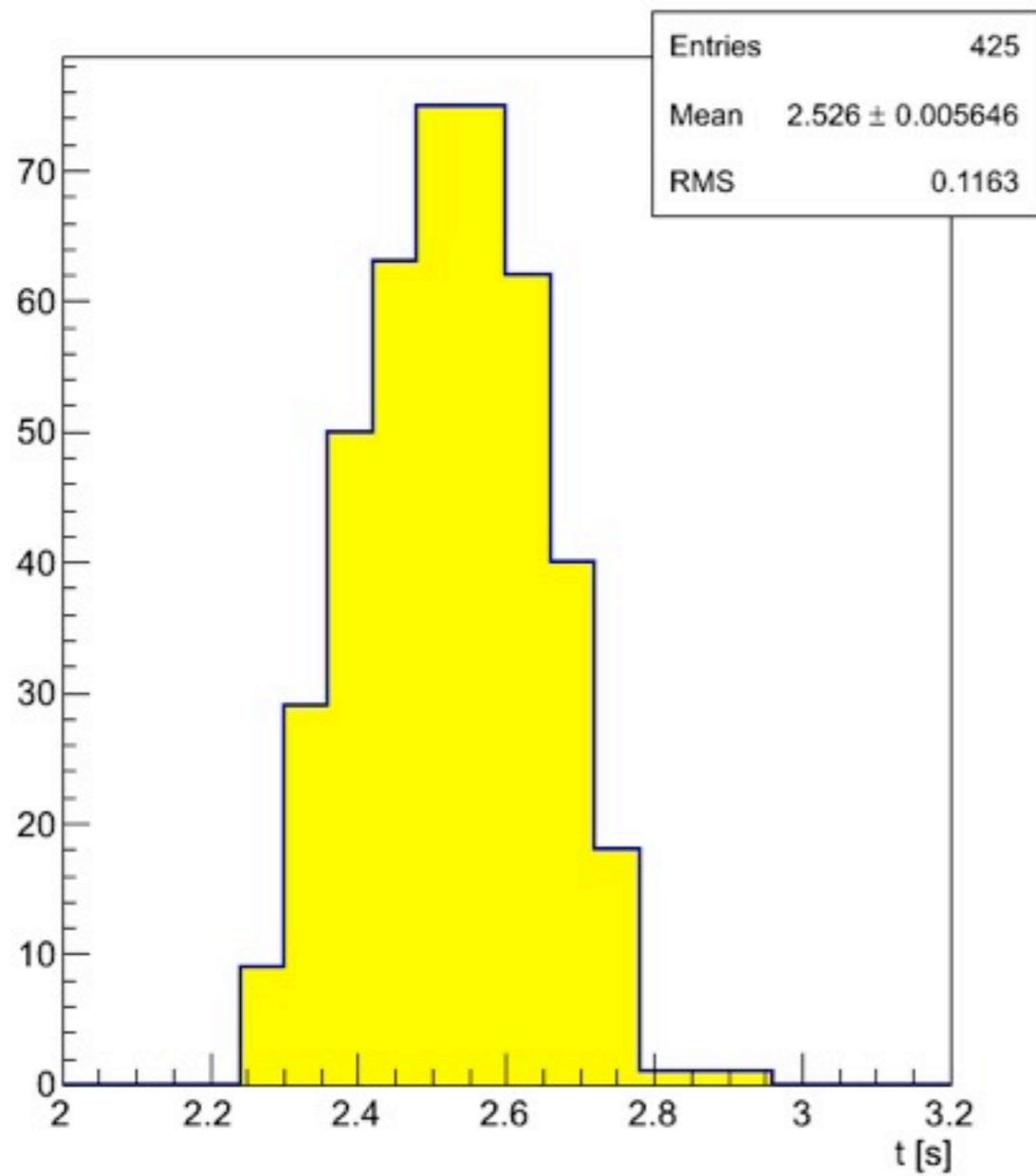
MEDIDAS

Medida	tempo [s]	aceleração [m/s ²]
1	2.46	11.2
2	2.61	9.98
...
quase 500	2.73	9.12

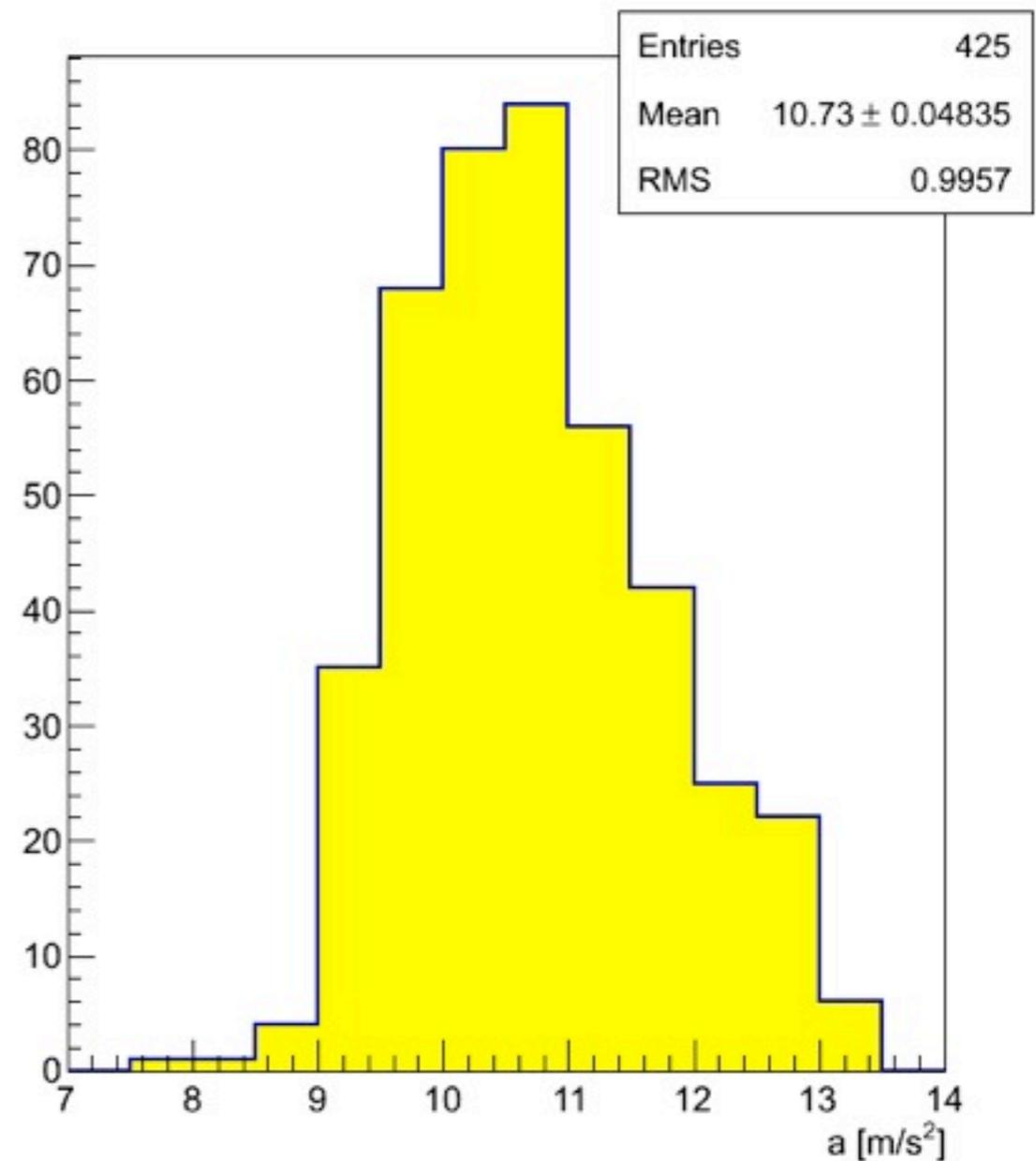


HISTOGRAMAS

Tempo de queda



Aceleracao



O DESVIO PADRÃO

- Desvios padrão

$$\sigma_{tempo} = 0.12 \text{ s}$$

$$\sigma_{acel} = 1.00 \text{ m/s}^2$$

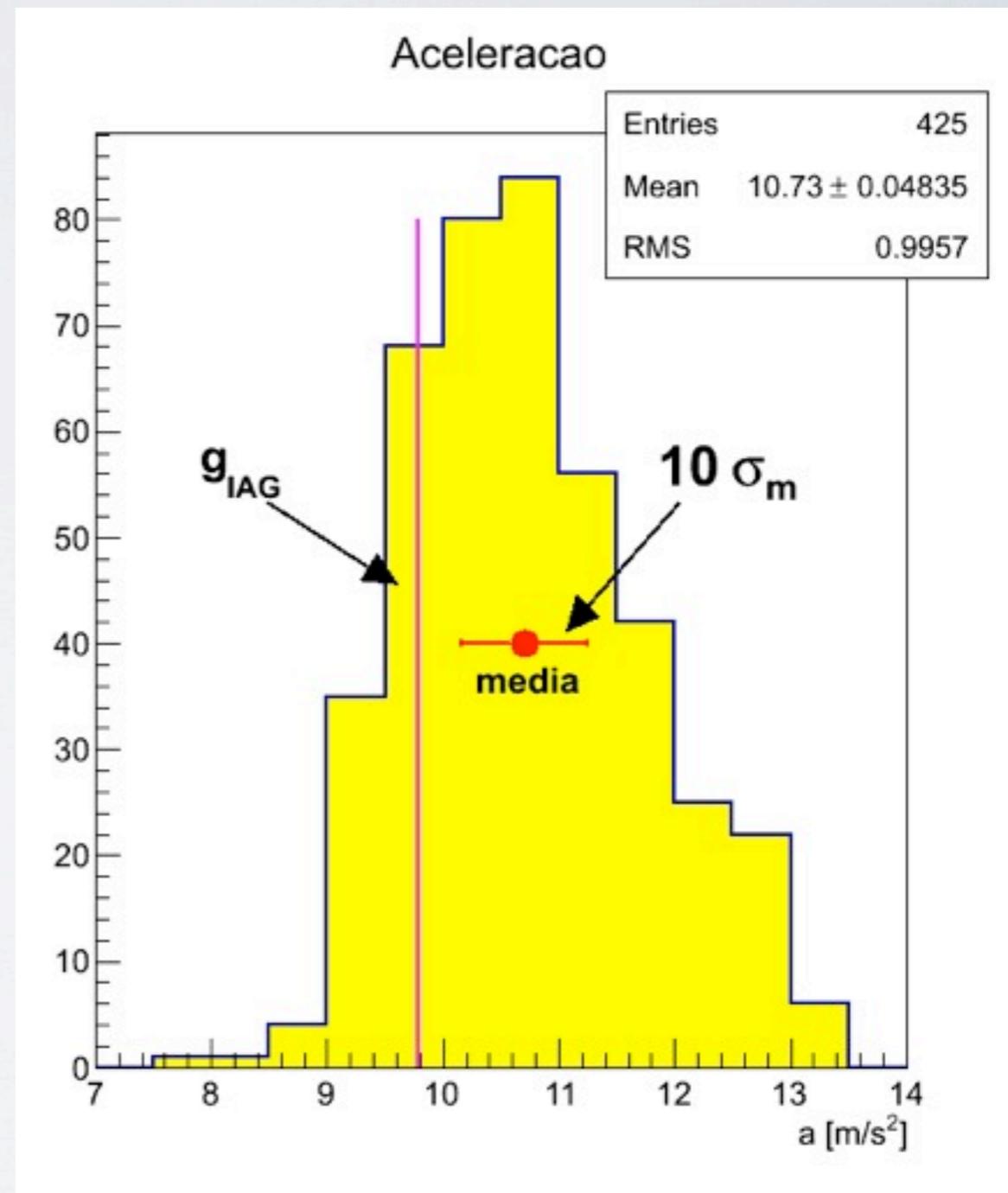
- O desvio padrão é uma estimativa de quanto cada medida flutua em torno do valor médio da amostra
- Estimativa da incerteza de cada medida

Medida	tempo [s]	aceleração [m/s ²]
1	2.46	11.2
2	2.61	9.98
...
quase 500	2.73	9.12

ACURÁCIA E PRECISÃO DA MEDIDA

- Os valores de aceleração são precisos e acurados?
- Precisão
 - desvio padrão = 1 m/s².
 - ~10% do valor de g
- $g_{IAG} = 9.7864 \text{ m/s}^2$.
- $g_{\text{médio}} = 10.73 \pm 0.05 \text{ m/s}^2$.

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



ACURÁCIA DO EXPERIMENTO

- 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

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

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

$$v_0 = 1.1 \text{ m/s}$$

- Valor muito alto se comparado a como as bolas foram lançadas
- A revisão das hipóteses teóricas não parece resolver a discrepância

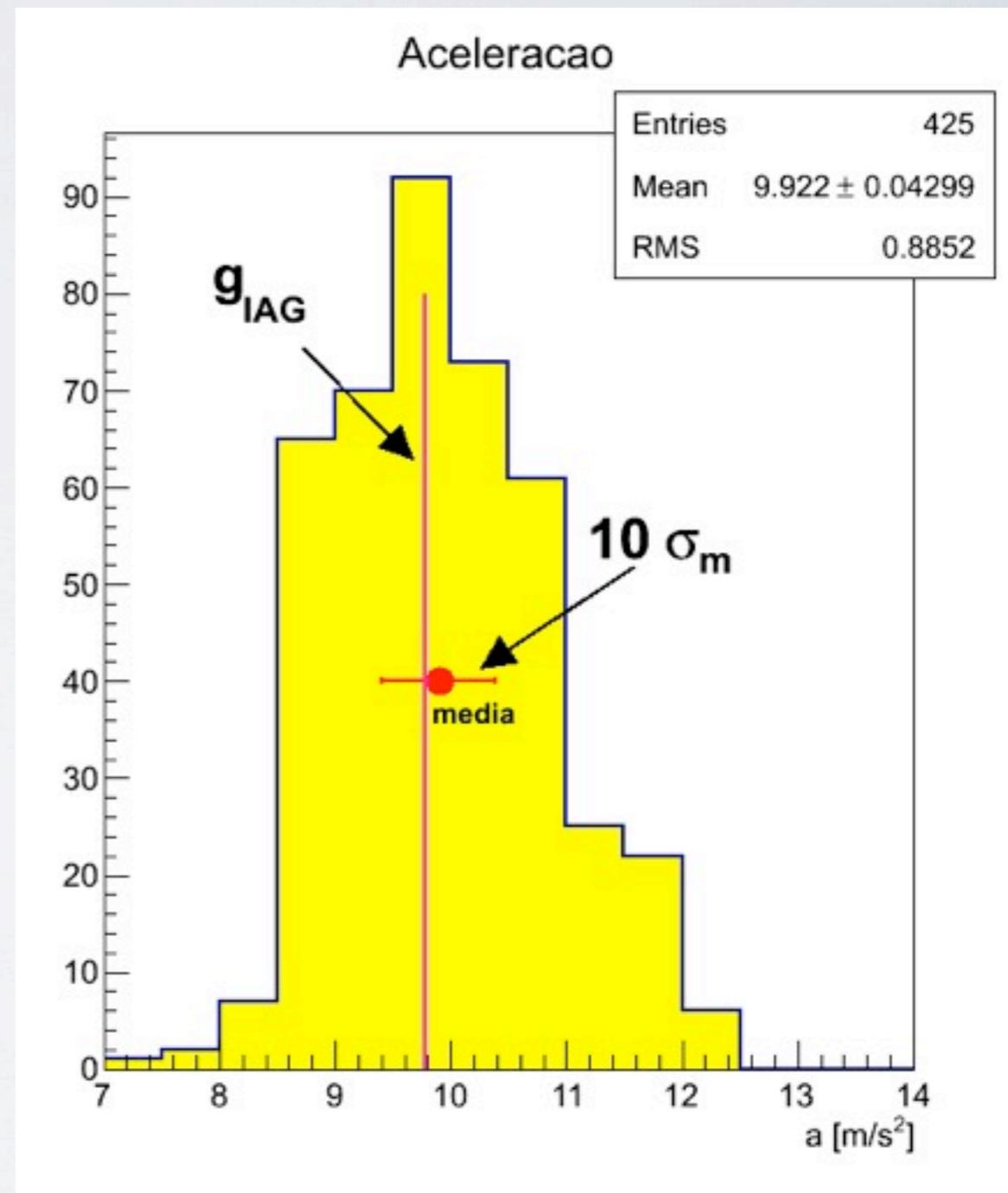
ACURÁCIA DO EXPERIMENTO

- 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 ~ 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?

REVISÃO DA ANÁLISE SOMANDO 0.1 S NO TEMPO DE QUEDA

- Os valores de aceleração são precisos e acurados?
- Precisão
 - desvio padrão = 0.9 m/s^2 .
 - $\sim 10\%$ do valor de g
- $g_{IAG} = 9.7864 \text{ m/s}^2$.
 - $g_{\text{médio}} = 9.92 \pm 0.04 \text{ m/s}^2$.

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



CONCLUSÃO

- 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 eu fizer apenas uma medida de tempo?**
 - **Qual a incerteza no tempo e aceleração?**

E SE NÃO DER PARA REPETIR O EXPERIMENTO?

- **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
 - Em instrumentos digitais essa informação está disponível 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**

