

**F 229**

# **Física Experimental II**

Coordenador: Prof. Pierre-Louis de Assis

[plouis@ifi.unicamp.br](mailto:plouis@ifi.unicamp.br)

Sala 3, Prédio A5 (DFA)

**O que queremos ensinar?**

# Habilidades científicas

- Planejar e realizar observações do comportamento de um sistema físico.
- Avaliar quais fontes de incerteza estão presentes em seu procedimento e estimar sua magnitude.
- Entender como o comportamento observado pode ser modelado matematicamente e qual o limite de validade desse modelo.

# Habilidades científicas

- Organizar os dados obtidos a partir das observações.
- Representar graficamente os dados.
- Tratar os dados utilizando ferramentas matemáticas para extrair parâmetros associados ao modelo.

# Habilidades científicas

- Comparar a previsão feita por um modelo às observações e aos resultados do tratamento dos dados.
- Comunicar a um leitor o que foi feito, quais os resultados e qual sua conclusão a respeito.

# Como estudar?

- Ler o roteiro antes da primeira aula e anotar suas dúvidas e comentários no caderno de laboratório.
- Participar ativamente das coletas de dados.
- Participar da discussão para elaborar um (ou mais de um!) procedimento.

# Como estudar?

- Fazer o tratamento dos dados preliminares e finais.
- Procurar outras referências sobre o fenômeno estudado, ir à monitoria, perguntar ao Professor ou PED.
- Discutir em grupo que conclusões pode-se tirar dos resultados.

# Resumindo

- ✓ Sejam curiosos, organizados e focados (o telefone pode esperar).
- ✓ Sempre questionem se seus resultados fazem sentido.
- ✓ Durante os experimentos, não tenham medo de tentar, de errar e de perguntar.



# Organização da disciplina

As informações detalhadas a respeito da organização da disciplina estão disponíveis no Moodle.

# Experimentos

Cinco experimentos, com duas aulas de duas horas por experimento:

1. Pêndulo físico
2. Cordas vibrantes e ondas estacionárias
3. Máquina de Atwood
4. Viscosidade: Lei de Stokes
5. Calorimetria

# Primeira aula

- Chegar com o roteiro lido, para ganhar tempo;
- Explorar o arranjo experimental e se familiarizar com os equipamentos;
  - Quais grandezas podem ser variadas no experimento?
  - Qual faixa de valores é possível explorar para estas grandezas?
  - Qual é a quantidade de medições adequada para um bom tratamento dos dados? Realizar medições repetidas?

# Primeira aula

- Tirar dúvidas com o Professor/PED a respeito do procedimento experimental que o grupo deseja adotar, de conceitos físicos relevantes para o experimento, questões sobre o roteiro, etc.
- Coletar dados preliminares.

# Entre aulas

- Analisar os dados preliminares coletados;
- Preparar os cálculos de propagação de incertezas;
- Preparar o planejamento do experimento:
  - ✓ Definição de um espaço amostral para as grandezas variáveis experimentalmente;
  - ✓ Estudar a equação-modelo, para encontrar o comportamento esperado do sistema dentro do espaço amostral escolhido;

# Entre aulas

- ✓ Gráficos preliminares indicando se o comportamento do sistema está dentro do esperado;
  - ✓ Montar tabelas para organizar a aquisição dos dados finais;
  - ✓ Escrever um procedimento detalhado a ser seguido na segunda aula.
- O planejamento deve ser enviado via Moodle antes do início da segunda aula!

# Segunda aula

- Realizar o experimento de acordo com o planejamento feito entre as aulas;
- Professor e PED ajudarão apenas em caso de problemas técnicos com o aparato experimental;
- Coletar dados definitivos (carimbo / visto na folha do caderno de laboratório).

# Análise de dados

- Em F229 a análise de dados e preparação dos gráficos é feita usando programas específicos:
  - ▶ Origin
  - ▶ SciDAVis
- O Excel pode ser usado durante as aulas para tratar os dados de forma preliminar, mas **não é adequado** para a preparação dos gráficos que devem ser inseridos no relatório.



# Relatórios

Título

Identificação (Nomes e RAs)

1. Descrição do sistema físico, equação modelo usada e suposições feitas.
2. Descrição do procedimento experimental e orçamento de incertezas.
3. Apresentação dos resultados e tratamento de dados.
4. Discussão dos parâmetros obtidos e comparação aos valores esperados, discussão de questões propostas no roteiro.

# Relatórios

Máximo de cinco páginas, em PDF, no Moodle. Anexos e folha de rosto não contam neste limite.

Usem Anexos em quantidade razoável para mostrar seus cálculos de propagação de incerteza e demais tratamentos dos dados.

**Páginas após a 5<sup>a</sup> não serão corrigidas!**

**Nota de relatórios:** Média das 4 maiores notas dentre os 5 relatórios.

# Relatórios

Além das cinco páginas do relatório, incluir também foto ou scan das folhas do caderno de laboratório onde estão anotados os dados brutos, com o visto do professor (carimbo) ou visto do PED (assinatura).

A rubrica de correção a ser usada para o relatório estará no fim do seu roteiro correspondente. Leiam e confirmam se atenderam a tudo que se espera!

# Rubrica de correção (exemplo)

Habilidade científica	Ausente	Insuficiente	Precisa Melhorar	Adequado
F1: Comunicar claramente os detalhes de um procedimento	Diagramas e/ou procedimento faltantes ou extremamente vagos.	Diagramas estão presentes mas incompletos e/ou procedimento presente mas faltam detalhes importantes. É preciso muito esforço para entender.	Diagramas e/ou procedimento presentes e com componentes/etapas claramente rotulados. Há algumas omissões ou detalhes vagos. É preciso algum esforço para entender.	Diagramas e/ou procedimento claros e completos. Não é preciso esforço para entender o que foi feito.
C7: Decidir se previsão e resultado concordam ou não	Não há menção a concordância ou discordância.	Decidiu-se sobre concordância ou discordância, mas a decisão não é consistente com os resultados do experimento.	Uma decisão consistente foi tomada, mas as incertezas experimentais não foram levadas em consideração.	Uma decisão consistente foi tomada, levando em consideração as incertezas experimentais.

# Plágio

## **CLÁUSULA DE HONESTIDADE ACADÊMICA**

De acordo com o Regimento Geral da UNICAMP, recorrer a meios fraudulentos a fim de lograr aprovação consiste em infração à disciplina, sujeita a penalidades disciplinares que vão de advertência à expulsão da universidade. Em F229, a desonestidade acadêmica é considerada fraude. A desonestidade acadêmica inclui, dentre outros, a cola em provas e exame final, o plágio em relatórios, a falsificação e a fabricação de dados experimentais. Alunos de F229 envolvidos em qualquer ato de fraude cometido no contexto desta disciplina serão reprovados na disciplina e estarão sujeitos à instauração de um processo disciplinar.

## **PLÁGIO**

Todos os relatórios serão testados para verificar a existência de plágio. Uma vez constatado o plágio, o caso será levado à Comissão de Graduação do IFGW, a qual poderá penalizar os alunos envolvidos com a nota zero na disciplina, sem prejuízo para as penalidades previstas no Título X do Regimento Geral da UNICAMP (página 38).

# Punições por plágio

- A detecção de plágio será feita de forma automatizada, via Turnitin.
- A critério do Professor, a punição para casos de plágio pode ser de nota 0 na seção onde foi detectado plágio, para casos leves, 0 no relatório **(não descartável como menor nota)** para casos mais graves e até mesmo de envio do caso para o Coordenador de Graduação, para medidas disciplinares.

# Avaliações

P1

- Experimentos 1 e 2

P2

- Experimentos 3 a 5

Exame Final

- Todos os experimentos

**ATENÇÃO:** Cada aluno somente poderá fazer as provas (P1, P2 e FES) no horário e local designados para a turma em que estiver matriculado. O aluno é o único e exclusivo responsável pelos compromissos assumidos para as datas e horários das provas de F-229.

# Nota Bônus:

## Experimento Desafio

- Experimento extra — Resposta ao final da aula, sem roteiro prévio e sem relatório a entregar;
- Participação opcional;
- Nota em grupo;
- Bônus de 0,25 por desafio a ser adicionado à Média de Aproveitamento;
- Correção “certo/errado”.



# Média de aproveitamento e média final:

$$M_A = \frac{R + P1 + P2}{3} + B$$

$M_A \geq 7$ : **Dispensa do Exame Final**

Se  $M_A < 7$ :

$$M_F = \frac{M_A + E}{2}$$

$M_F \geq 5$ : **Aprovação**

$M_F < 5$ : **Reprovação**

# Frequência

- É exigido o mínimo de 75% de frequência às aulas. Isso significa que a 4<sup>a</sup> falta causa reprovação por infrequência.
- Controle de frequência: assinatura em lista de presença. Após o fim da aula, espaços em branco serão considerados falta. **Não esqueça de assinar a lista!**
- Só serão abonadas faltas para os casos previstos no regimento de graduação da Unicamp.
- Uma falta na primeira aula aplica um fator 0,7 à nota do relatório. Uma falta na segunda aula aplica um fator 0,3.

# Calendário de atividades

SEMANA	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
1	29/7	30/7	31/7	1/8	2/8
2	5/8	6/8	7/8	8/8	9/8
3	12/8	13/8	14/8	15/8	16/8
4	19/8	20/8	21/8	22/8	23/8
5	26/8	27/8	28/8	29/8	30/8
6	2/9	3/9	4/9	5/9	6/9
7	9/9	10/9	11/9	12/9	13/9
8	16/9	17/9	18/9	19/9	20/9
9	23/9	24/9	25/9	26/9	27/9
10	30/9	1/10	2/10	3/10	4/10
11	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10
12	14/10	15/10	16/10	17/10	18/10
13	21/10	22/10	23/10	24/10	25/10
14	28/10	29/10	30/10	31/10	1/11
15	4/11	5/11	6/11	7/11	8/11
16	11/11	12/11	13/11	14/11	15/11
17	18/11	19/11	20/11	21/11	22/11
18	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11
19	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12
20	9/12	10/12	11/12	12/12	13/12
21	16/12	17/12	18/12	19/12	20/12

Disponível no Moodle da disciplina!

**Revisão**

# Tratamento de dados

- Por que fazer uma linearização da equação modelo?
  - ✓ Visualizar rapidamente em um gráfico linearizado se a equação modelo descreve bem o comportamento observado.
  - ✓ Os coeficientes angular e linear da equação  $Y = A + BX$  (ou  $Y = AX + B$ ) são funções de parâmetros do modelo e podem ser obtidos via um método numérico. Assim é possível obter o valor dos parâmetros para o sistema estudado e comparar a previsões.



[31/07/19 17:11 Plot: "Graph2"]  
 Linear Regression fit of dataset: Table1\_5, using function: A\*x+B  
 Y standard errors: Unknown  
 From x = 1.44 to x = 33.64  
 B (y-intercept) = 17.846503302458 +/- 1.46135535964319  
 A (slope) = 1.81609137036711 +/- 0.0749919186336159  
 -----  
 Chi^2/doF = 4.70143575597319  
 R^2 = 0.993225745629291

	1[X1]	2[Y1]	3[yEr1]	4[X2]	5[Y2]
1	1.2	17.64	0.3	1.44	17.64
2	2.1	26.01	0.4	4.41	26.01
3	3.2	38.44	0.4	10.24	38.44
4	3.9	47.61	0.5	15.21	47.61
5	5.3	68.89	0.5	28.09	68.89
6	5.8	77.44	0.4	33.64	77.44
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

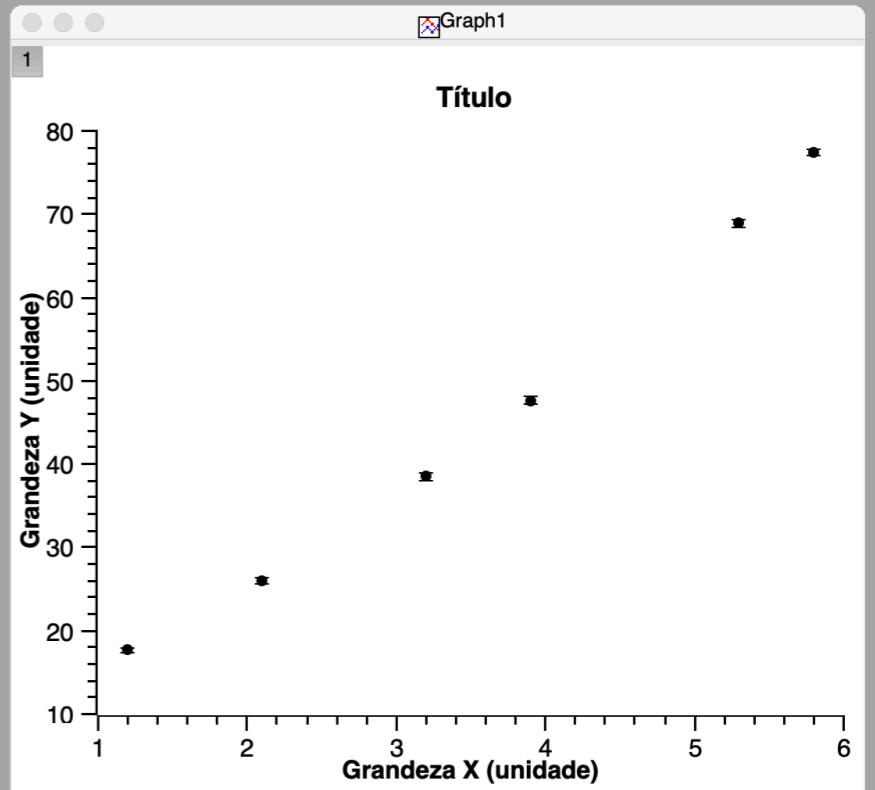
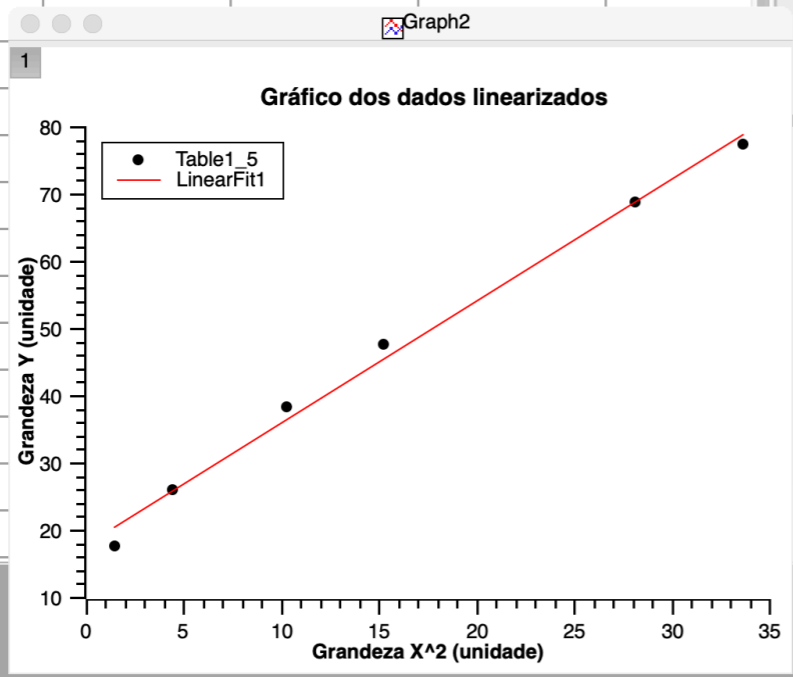
Description Type Formula

Formula:

col("2")

col("2")

sqrt



	1[X1]	2[Y1]	3[yEr1]	4[X2]	5[Y2]
1	1.2	17.64	0.3	1.44	17.64
2	2.1	26.01	0.4	4.41	26.01
3	3.2	38.44	0.4	10.24	38.44
4	3.9	47.61	0.5	15.21	47.61
5	5.3	68.89	0.5	28.09	68.89
6	5.8	77.44	0.4	33.64	77.44

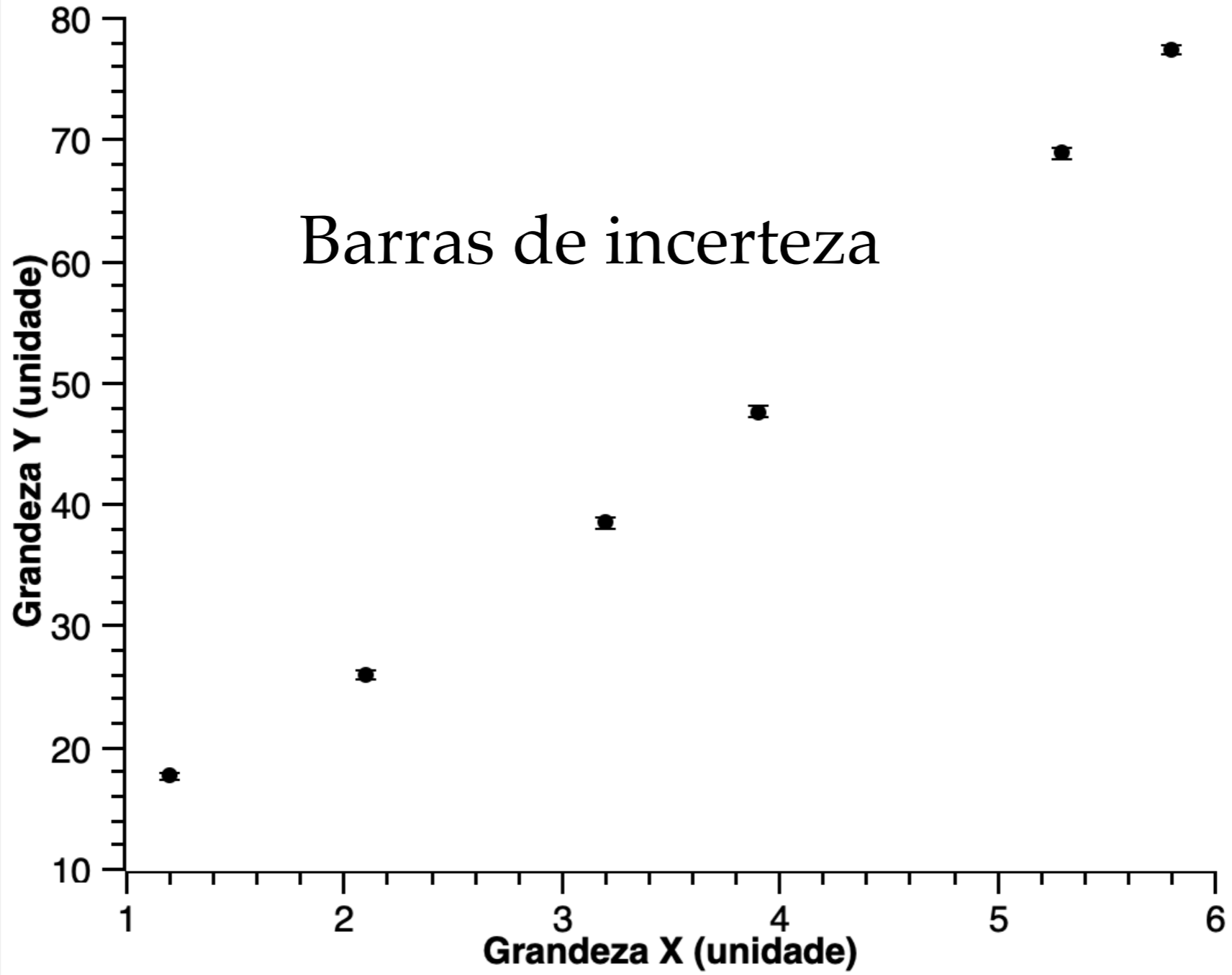
Dados brutos, incluindo incertezas em Y1.

Dados linearizados:  
Assumindo  $Y1 = (X1)^2$   
como equação modelo:

- ▶  $Y2 = Y1$
- ▶  $X2 = X1^2$
- ➔  $Y2 = X2$ 
  - Valor esperado para A: 1
  - Valor esperado para B: 0

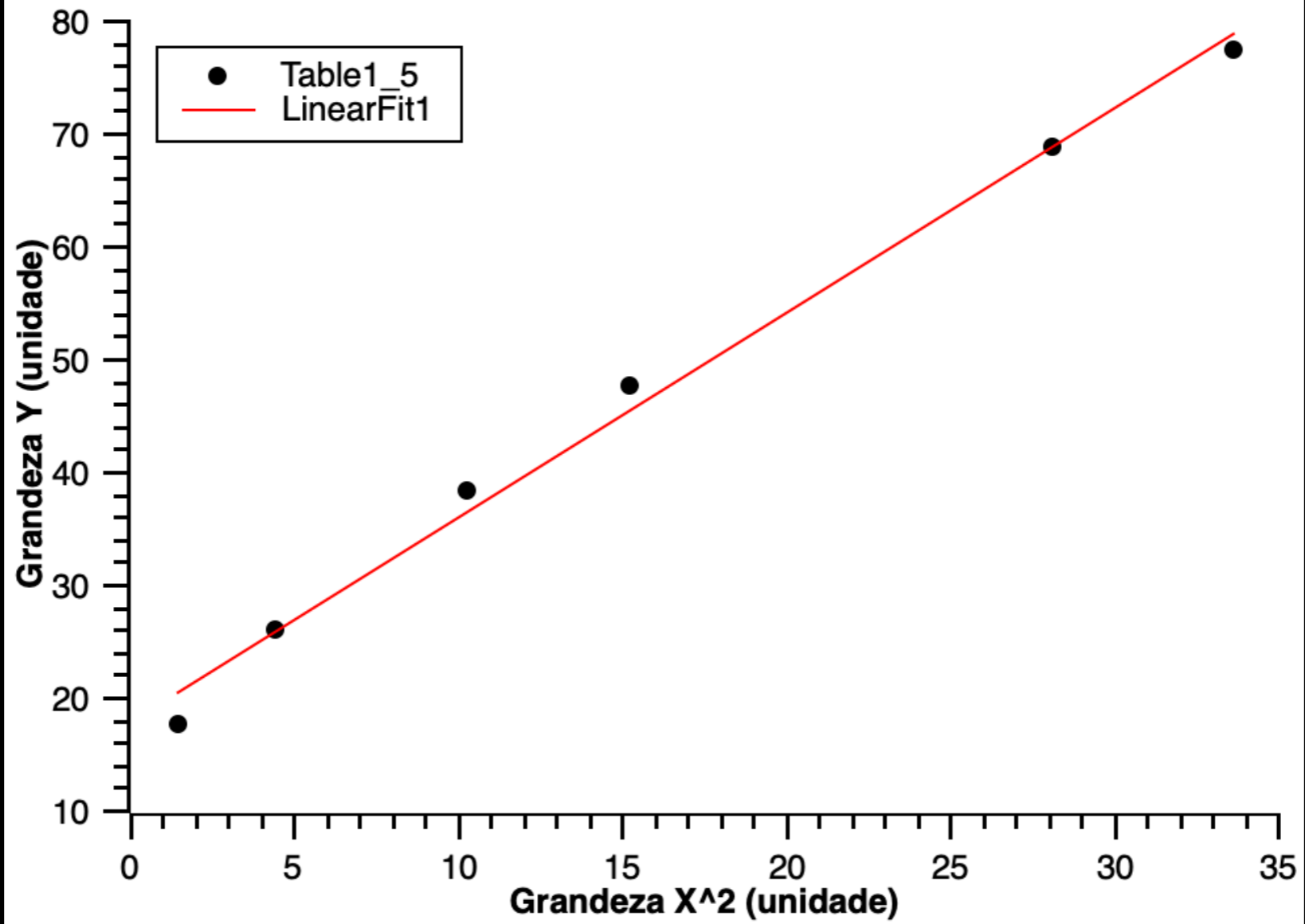
1

Título





## Gráfico dos dados linearizados



Incerteza dos dados:  
não especificada

Função usada no ajuste

```
-----  
[31/07/19 17:11                               Plot: "Graph2"]  
Linear Regression fit of dataset: Table1_5, using function: A*x+B  
Y standard errors: Unknown  
From x = 1.44 to x = 33.64  
B (y-intercept) = 17.846503302458 +/- 1.46135535964319  
A (slope) = 1.81609137036711 +/- 0.0749919186336159  
-----  
Chi^2/doF = 4.70143575597319  
R^2 = 0.993225745629291  
-----
```

Qualidade do  
ajuste.

Resultado dos parâmetros e suas  
incertezas. Adaptar para a regra de 1  
algarismo significativo.

# Comparando previsão e resultado

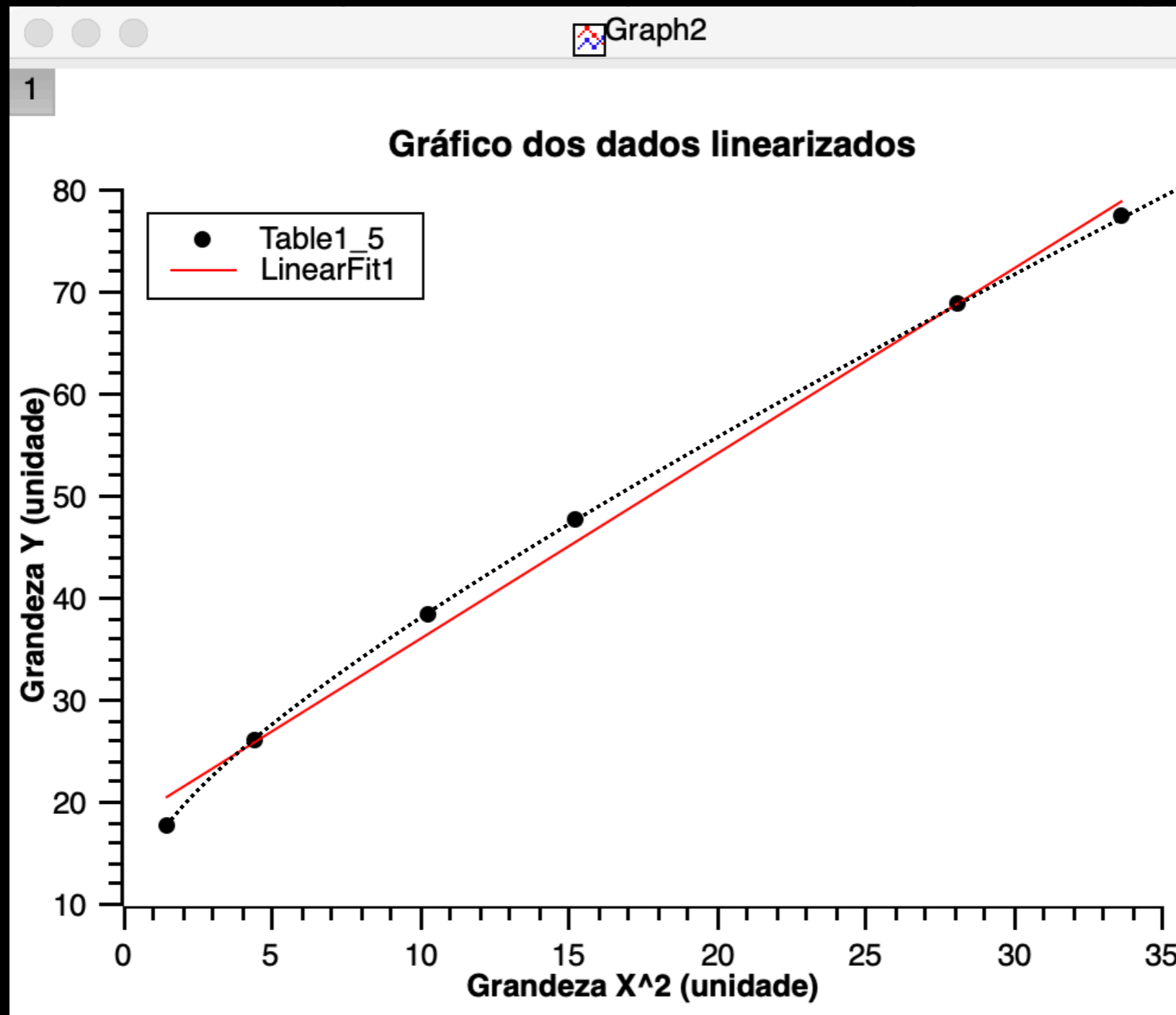
Valores esperados para os parâmetros:

- $A = 1$
- $B = 0$

Valores obtidos pelo ajuste:

- $A = 1,82 \pm 0,07$
- $B = 18 \pm 1$

Assumindo que o procedimento foi correto, o modelo usado descreve adequadamente o sistema?



Equação usada para gerar Y1:

$$Y1 = (X1+9)^2$$

# Incertezas

- Toda medição está sujeita a incertezas.
  - Limitações do aparato experimental
    - Extrai uma quantidade finita de informação do sistema.
  - Limitações do experimentador em observações visuais ou manipulação do aparato.
    - Quão perpendicular ao chão está a sua trena? Qual a resolução dos seus olhos? Há paralaxe na leitura da escala?
  - Flutuações aleatórias das condições experimentais ou das condições do instrumento de medição.

# Incertezas

- A função de quem realiza um experimento não é de eliminar as incertezas, mas:
  - identificar as suas fontes,
  - estimá-las corretamente,
  - garantir que o procedimento adotado não introduza incertezas desnecessariamente.

# Incertezas

- Tipo A: Análise de uma série de medições.
  - Incerteza padrão de medições repetidas, formando um conjunto de valores  $\{x\}$  para a mesma medição.
  - Incerteza padrão dos parâmetros de um ajuste por mínimos quadrados de um conjunto de pontos  $\{(x,y)\}$ . Neste caso a incerteza é fornecida pelo programa.

# “Orçamento” de Incertezas

- Organiza em uma tabela as fontes de incerteza e suas contribuições, estimadas pelo grupo.
- Indica qual tipo de incerteza está associado a cada fonte.
- Indica qual função densidade de probabilidade (se for o caso) foi usada pelo grupo na estimativa.
- É importante justificar / fundamentar suas estimativas.



# "Orçamento" de Incertezas

Fonte de incerteza	Tipo de incerteza	F.D.P.	Valor da incerteza padrão
Leitura da balança	B	Retangular	0,01 g
Leitura da trena	B	Triangular	0,03 cm
Inclinação da trena	B	Retangular	0,2 cm
Medições repetidas do período	A	Gaussian	0,00001 s

# Uncertainty in repeated measurements

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right)$$

Normalization  $\int_{-\infty}^{+\infty} P(x)dx = 1$

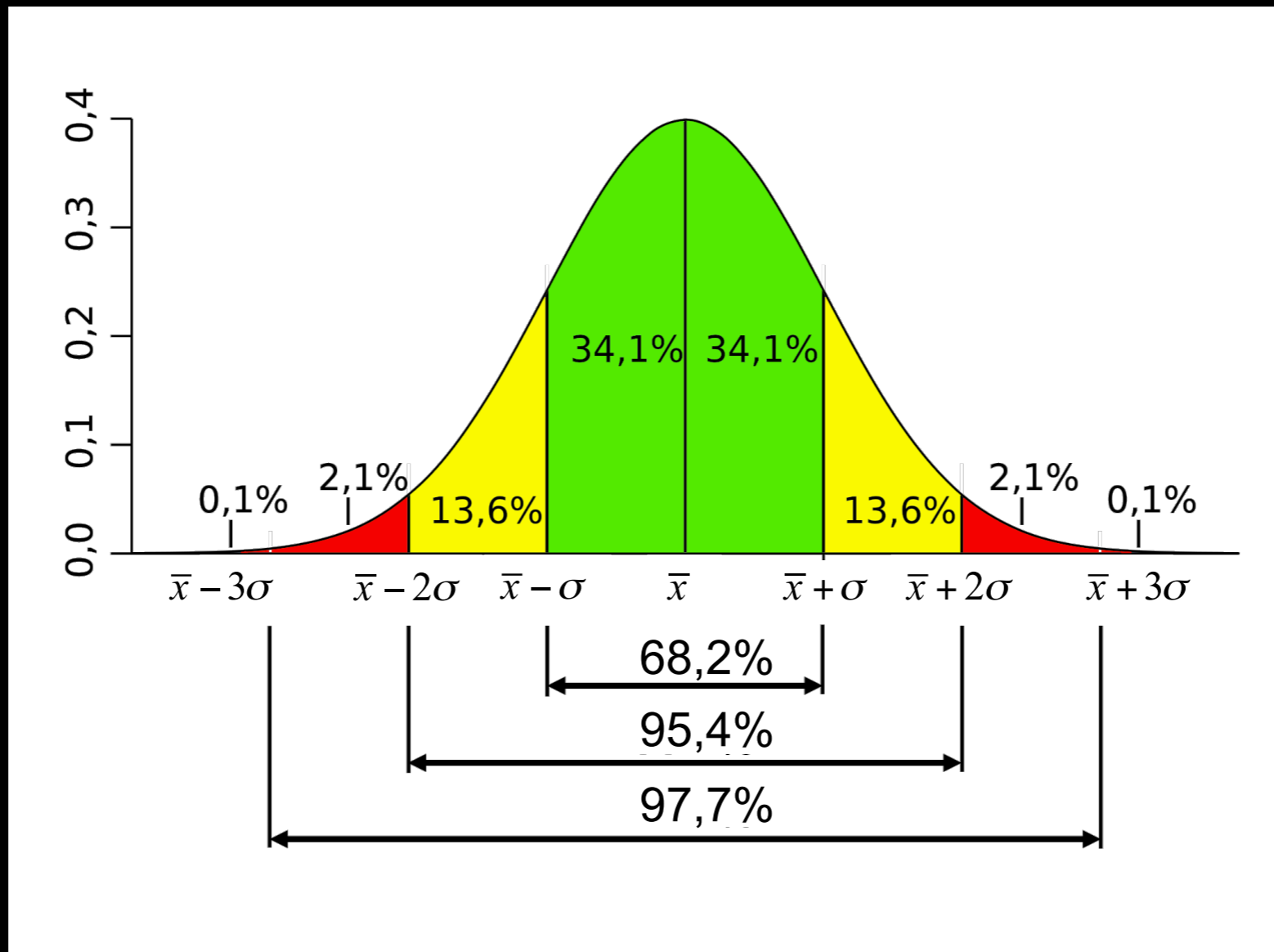
# Uncertainty in repeated measurements

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

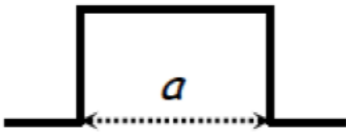
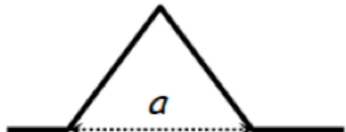
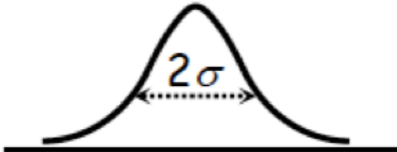
$$u_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

# Uncertainty in repeated measurements



# Incertezas

- Tipo B: Outras formas de estimar a incerteza.
  - Estimativa do operador em uma medição única, analógica ou digital.
  - Incertezas fornecidas pelo fabricante do instrumento.
  - Calibração do instrumento.

Função de densidade de probabilidade	Incerteza-padrão $u$	Quando usar	
retangular		$u = \frac{a}{2\sqrt{3}}$	<p>Quando se conhece apenas os valores máximos e mínimos de variação. Exemplo: efeito causado pela resolução finita do equipamento</p>
triangular		$u = \frac{a}{2\sqrt{6}}$	<p>Quando se conhece os valores máximo e mínimo de variação e o valor mais provável. Exemplo: posicionamento de um instrumento em uma marca de escala.</p>
gaussiana		$u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	<p>Conjunto de <math>n</math> medições repetidas.</p>

# Propagação de incertezas

$$F(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_m)$$

$$u_F^2 = \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^2 u_{x_i}^2$$