

2

Determinação do valor da aceleração da gravidade usando o acelerômetro do celular: uma introdução à análise estatística

Os exercícios deste roteiro serão corrigidos pelo(a) professor(a) e utilizados como parte da avaliação da disciplina. Deve ser entregue um relatório impresso e preenchido por grupo.

Estudante 1: _____

Estudante 2: _____

Estudante 3: _____

1.1 INTRODUÇÃO

Neste experimento será realizada uma estimativa coletiva da turma para o valor da aceleração da gravidade local, e uma correspondente estimativa para a incerteza nesse valor. Usaremos os acelerômetros presentes no celular de cada estudante, posicionando diversos deles sobre uma mesma mesa, e fazendo as medições simultaneamente. Será utilizado novamente o aplicativo Phyphox® para fazer a aquisição dos dados de aceleração em função do tempo. Depois de baixar o aplicativo, acrescente o experimento *Accelerometer Statistics*¹. Você pode utilizar no aplicativo o *QR code* acima dentro do Phyphox®.



Antes da tomada de dados, a turma deve discutir e escolher que parâmetros serão usados por todos, tais como tempo de aquisição, tempo de atraso etc.

¹ M. Monteiro, C. Stari, A. C. Martí, *A home-lab to study uncertainties using smartphone sensors and determine the optimal number of measurements*, <https://arxiv.org/abs/2212.00590>

1.2 DADOS EXPERIMENTAIS

Preencha a Tabela com os resultados obtidos (um por cada estudante).

Tabela 2.1 — Resultados individuais obtidos por cada estudante

Celular	Marca	$g_i \text{ m/s}^2$	$\sigma(\text{m/s}^2)$	n (contagens)	<i>Erro padrão</i> $\sigma/\sqrt{n} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

1.2.1 VALOR MÉDIO E DESVIO PADRÃO

Para compreender o procedimento de cálculo, comece por preencher a Tabela 2.1. e, depois, calcular o valor médio entre 3 celulares, e os correspondentes desvio padrão e erro padrão².

Tabela 2.2 – um treinamento para os cálculos de valor médio e desvio padrão.

Celular i	g_i (m/s ²)	$(g_i - \bar{g})^2$ (m ² /s ⁴)
1		
2		
3		

A primeira coluna é referente ao celular, e é atribuído a ele um número i , que vai de 1 a 3; a segunda coluna diz respeito ao valor de g medido pelo celular i , enquanto a terceira coluna é o quadrado da diferença entre cada dado e a média da amostra.

A) Determine inicialmente o valor médio para $N = 3$. Consulte os valores de g_i na Tabela 2.2.

$$N = 3 \quad \bar{g} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$$

Embora a notação matemática possa ser uma novidade, se trata simplesmente da média aritmética dos valores encontrados em cada telefone: some os 3 valores de g_i (i variando de 1 a 3) e divida o resultado por 3 ($N=3$). Agora utilize o valor médio calculado para terminar de preencher a Tabela 2.2. Aqui no item (A) você ainda não precisa se preocupar com os algarismos significativos. Calcule:

$$\sum_{i=1}^N (g_i - \bar{g})^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2/\text{s}^4$$

² Você pode se aprofundar um pouco mais sobre o assunto, acessando a página <<https://pt.khanacademy.org/math/statistics-probability/summarizing-quantitative-data/variance-standard-deviation-population/a/calculating-standard-deviation-step-by-step>>. Lá você vai encontrar, por exemplo, alguns exercícios interativos.

Desvio padrão $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (g_i - \bar{g})^2} = \text{_____} \text{ m/s}^2$

Incerteza no valor médio (Erro padrão) $\frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \text{_____} \text{ m/s}^2$

Incerteza no desvio padrão³ $\frac{\sigma}{\sqrt{2(N-1)}} = \text{_____} \text{ m/s}^2$

- B) Reescreva os valores obtidos no passo anterior na forma solicitada a seguir, respeitando o número correto de algarismos significativos⁴.

$$\bar{g} = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ m/s}^2$$

$$\sigma = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ m/s}^2$$

- C) Utilize agora uma ferramenta computacional e faça o cálculo usando os dados de todos os celulares listados na Tabela 2.1 (novamente, atenção à análise dos algarismos significativos).

$$\bar{g} = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ m/s}^2$$

$$\sigma = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ m/s}^2$$

- D) Compare em termos de precisão⁵ os resultados para \bar{g} obtidos em (B) e em (C).
- E) Compare em termos de exatidão⁶ os resultados para \bar{g} obtidos em (B) e em (C). Adote como referência para g na cidade do Rio de Janeiro o valor $g_{Ref} = (9.788 \pm 0.001) \text{ m/s}^2$.

³ A. M HELENE, O.; R. VANIN, V. Tratamento Estatístico De Dados Em Física Experimental. 2ª. ed. Blucher, 1991.

⁴ Use sempre um algarismo significativo nas incertezas. Já a decisão pelo número de algarismos significativos em \bar{g} e em σ é tomada a partir do cálculo da incerteza correspondente.

⁵ Qual das duas tem a menor incerteza relativa (percentual)?

⁶ Qual das duas está mais próxima do valor de referência?

1.2.2 Histograma (opcional)

Para produzir o histograma, complete a Tabela 2.3. Será necessário escolher um tamanho de intervalo razoável e condizente com as medidas efetuadas e os valores obtidos. Intervalos muito pequenos ou muito grandes são problemáticos. Discuta com seus colegas e/ou professor(a).

Tabela 2.3 – base de dados para o histograma.

Intervalo (m/s ²)	Centro do intervalo (m/s ²)	Número de eventos no intervalo

- F) Agora, em uma folha de papel de gráfico, à mão, faça seu histograma.
- G) Faça sobre o histograma uma representação gráfica dos valores para \bar{g} e σ obtidos usando os dados de todos os celulares.