



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Departamento de Física

Experimento 1: Medidas e incertezas

Física Experimental 1 / 2023.1

Informações sobre a Equipe

Nome: Ênio Henrique Nunes Ribeiro

Nome: Rafael Ramor Batista Corcino

Nome: _____

Bancada: _____ Turma: 27 Data: _____

Parte 1 - primeira aula

1 Medição do comprimento da bancada [2.0 pontos]

Meça o maior comprimento L do tampo da bancada de trabalho utilizando as **susas mãos**. Chame essa unidade de "palmo", denotado pelo símbolo fictício 'p' (e.g. 8 palmos = 8 p).

Preencha a tabela abaixo com as medições de L e incerteza σ_L (com unidades!) feitas por um membro da equipe.

	L	σ_L
Valor	7,2 p	± 0,5 p
Nº de algarismos significativos	2	1
Nº de algarismos exatos	1	-----
Nº de algarismos duvidosos	1	-----

Como foi determinada a incerteza de medição? Descreva seu procedimento de forma sucinta.

Resposta: Como o instrumento de medição utilizado foi o palmo e sua menor medida é 1 p, adotou-se a medida de incerteza como metade desta medida, ou seja, 0,5 p.

O palmo seria um *bom padrão* de medição? Justifique sucintamente.

Resposta: Não. Pois não existe um padrão exato de palmo, e ele pode variar de pessoa para pessoa, obrigando que a medição seja baseada em aproximações imprecisas com uma medida de incerteza alta.

Definição de um padrão de medição

Se você viu falhas no 'palmo' como padrão, podemos melhorar a situação considerando um segundo padrão. Vamos tomar emprestado um padrão de comprimento do SI, representado pelo "metro".

Assim, utilize o **esquadro** calibrado por esse padrão para converter a sua unidade de "palmo" para o SI, usando frações do mesmo (cm). Escreva abaixo seu resultado.

$$1 \text{ palmo} = \underline{\hspace{2cm}} 22,6 \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} 0,5 \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm.}$$

Converta as medições da tabela anterior de *palmos* para cm.

	L	σ_L
Valor	16,27.10 cm	$1 \cdot 10 \text{ cm}$
Nº de algarismos significativos	4	3
Nº de algarismos exatos	3	---
Nº de algarismos duvidosos	1	---

Você percebeu que existem *duas fontes de incerteza na conversão?* Aponte-as e comente.

Resposta: Sim, notamos que para cada padrão de medida diferente (palmo e cm), temos uma incerteza diferente, a palma é 0,5 p e utilizando a trena, 11,3 cm.

É razoável supor que essas duas fontes de incerteza sejam independentes? Justifique.

Resposta: Sim, cada uma das fontes utiliza o seu padrão próprio de medir a incerteza, como exemplo a trena utiliza cm e a palma utiliza p.

Utilize agora a **trena**, outro instrumento graduado com frações do padrão de comprimento do SI (cm ou mm), para realizar a medição *direta* de L . Preencha a tabela abaixo com os resultados denotando todas as informações importantes.

	L	σ_L
Valor	$1651,0 \cdot 10^1 \text{ cm}$	$0,5 \cdot 10^1 \text{ cm}$
Nº de algarismos significativos	5 ✓	4
Nº de algarismos exatos	4	---
Nº de algarismos duvidosos	1	---

Comparando os dois padrões (palmo e metro), aponte vantagens e/ou desvantagens relativas.

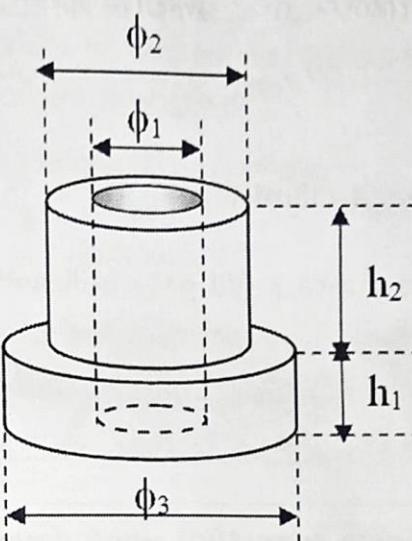
Resposta: O palmo é um instrumento de medida acessível, porém o grau de incerteza é alto, pois o palmo varia de pessoa p/ pessoa. O padrão metro é mais preciso que o palmo, mas necessita de instrumentos de medida mais eletrônicos p/ ser medido e p/ aumentar a sua precisão, é necessário ser acompanhado por variações menores de medida. (cm, dm, mm, ...)

2 Medição das dimensões da peça cilíndrica [2.0 pontos]

Vamos utilizar agora o **paquímetro** para medir as dimensões da peça cilíndrica. Realize suas medições de forma direta, i.e. sem realizar somas e subtrações entre as medidas das partes. Perceba como o instrumento possui essa versatilidade.

Lembre-se que um resultado de medição sem incerteza e unidade é incompleto. Utilize sempre a forma correta de notação.

	Resultado da medição
ϕ_1	$(73,0 \pm 0,2).10^3$ mm
ϕ_2	$(194,0 \pm 0,2).10^3$ mm
ϕ_3	$(248,0 \pm 0,2).10^3$ mm
h_1	$(94,0 \pm 0,2).10^3$ mm
h_2	$(302,0 \pm 0,2).10^3$ mm



Se você realizou as medições de forma cuidadosa, deve ter notado que utilizamos uma idealização: a peça à sua frente não é como descrita na figura.

Por ser um objeto real, ela não possui simetria cilíndrica perfeita, nem alturas uniformes em todos os pontos: as dimensões devem variar se escolhermos pontos diferentes para realizarmos as medições com instrumentos suficientemente precisos.

A pergunta que você deve se fazer é: **essa idealização é válida dentro da precisão de minha medição?** Ou seja: de que maneira (escolha da incerteza) posso afirmar que a peça real é de fato tal qual mostra o desenho? A resposta só pode ser obtida experimentalmente.

Meça o diâmetro ϕ_2 em 5 pontos diferentes e anote seus valores e incertezas na tabela abaixo.

	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5
ϕ_2	$(191,5 \pm 0,2).10^3$ mm	$(194,0 \pm 0,2).10^3$ mm	$(194,0 \pm 0,2).10^3$ mm	$(194,5 \pm 0,2).10^3$ mm	$(193,0 \pm 0,2).10^3$ mm

A idealização da figura é válida experimentalmente? Justifique com base nos dados acima.

Resposta: Com base nos dados obtidos, não. Pois notamos 4 valores diferentes ao medirmos a peça real em pontos diferentes de ϕ_2 , no entanto, notamos que a variação dos valores foi baixa o que nos dá um certo grau de confiabilidade.

Imagine que essa peça tenha sido fabricada com a intenção de se aproximar ao máximo da forma ideal da figura.

Nesse caso, o que o fabricante pode garantir como **especificação**? Escreva sua especificação para ϕ_2 .

$$\phi_2 = (193,4 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$$

Explique seu critério sucintamente.

Resposta: O critério utilizado foi a média dos 5 valores obtidos, pois como notamos uma diferença de amplitude entre os valores, achamos melhor fazer a média ao invés da moda.

Massa da peça cilíndrica

Meça agora a massa m da peça utilizando a balança disponível no laboratório.

$$m = (172,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

Forte sugestão: você deve ter completado todas as atividades propostas até aqui antes de iniciar a segunda aula deste experimento

Parte 2 - segunda aula

3 Medição do diâmetro das bolas de vidro e de aço [3.0 pontos]

Vamos investigar como o procedimento experimental e a escolha do instrumento afetam a medição.

Primeiramente, utilizemos o paquímetro para medir os diâmetros de bolas de vidro (v) ou de aço (a), ficando a critério do grupo escolher qual delas será usada.

Determine o diâmetro da bola escolhida com base em **5 medições repetidas sobre o mesmo local**. Anote cada medição (com incerteza e unidade!) na tabela abaixo (indique o tipo de bola utilizada).

Após cada medição, abra e feche o paquímetro para garantir que medições individuais sejam independentes, ou seja, que uma medição não influencie a próxima.

	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5
$\phi(a)$	$(189,5 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(189,0 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(189,0 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(189,5 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(189,5 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$

Idealmente, todas as medições deveriam fornecer o **mesmo valor dentro da incerteza instrumental**. No entanto, você deve ter notado que a bola tende a escapar das garras do paquímetro, dificultando a medição. Essa dificuldade pode influenciar quantitativamente sua medição, aparecendo como um aumento da **incerteza total**.

Portanto, a **incerteza instrumental é apenas o limite inferior da incerteza na medição**, uma vez que outros fatores podem afetar o resultado, contribuindo para o **aumento** da incerteza.

Assim, a tabela acima fornece uma propriedade do seu procedimento de medição (**a incerteza total**), pois eventuais flutuações observadas nos valores medidos só podem ter origem no processo de medição (afinal, o diâmetro da bola tomado no "mesmo local" não varia entre medições!¹).

Com base em sua tabela, forneça seu resultado experimental para o diâmetro da bola.

$$\phi_a = (189,3 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$$

Explique sucintamente como você estimou a incerteza, justificando **baseado em suas medições**.

Resposta: Ao realizar as 5 medições, obtivemos basicamente 2 valores diferentes. No entanto, podemos atingir esses 2 valores a partir do erro do próprio instrumento. Portanto optamos por deixar o erro do instrumento.

Teste a esfericidade das bolas usando o paquímetro.

Testemos agora "quão esféricas" são as bolas. A idéia nessa etapa é, conhecendo a real incerteza da medição de diâmetro, verificar se as bolas apresentam diâmetro uniforme.

Realize 5 medições de diâmetro, em **locais diferentes**, das esferas de vidro e de aço e preencha a tabela abaixo.

	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5
ϕ_v	$(157,5 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(158,0 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$			
ϕ_a	$(189,5 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(189,5 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(189,0 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(199,0 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(189,5 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$

Com base na variação dos dados da tabela e na incerteza de cada medição (estimada anteriormente), o que você pode afirmar sobre a esfericidade das bolas? (Suponha que você seja um(a) técnico(a) do Inmetro, caso isso lhe ajude a dar um sentido de propósito à medição)

Resposta: De acordo com os valores obtidos, cada esfera é praticamente uniforme, visto que não houve grande variação dos valores obtidos. No entanto, notamos que a esfera de vidro tem uma esfericidade mais uniforme, pois de 5 medidas obtivemos 4 com os mesmos valores, o que não aconteceu na esfera de aço.

Suponha que as bolas acima tenham sido fabricadas para serem esféricas (o que é bem provável), e que o fabricante tenha feito os mesmos testes que você para controlar a qualidade de seu produto. Nesse caso, como o fabricante deve especificar os valores de diâmetros das esferas?

¹Mesmo a definição do que é "mesmo local" está sujeita a imperfeições em seu método de determiná-lo.

$$\phi_v = (157,9 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$$

$$\phi_a = (189,3 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ mm}$$

REPITA AS MEDIÇÕES ACIMA UTILIZANDO O MICRÔMETRO.

Primeiramente, determine a precisão intrínseca de sua medição de diâmetro repetindo-a 5 vezes sobre o mesmo local.

Utilize a mesma bola usada inicialmente e não se esqueça de abrir e fechar (com cuidado!) o micrômetro entre medições para garantir que cada uma seja independente das demais.

	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5
$\phi_{(a)}$	$(1900,0 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(1900,5 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(1900,5 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(1900,5 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(1900,0 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$

Com base em suas medições, determine sua incerteza real de medição e enuncie abaixo o valor do diâmetro medido no local escolhido.

$$\phi_{(a)} = (1900,3 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$$

Como a incerteza instrumental se compara à incerteza total determinada acima?

Resposta: A partir dos valores obtidos, pode-se atingir tal valor com a incerteza real do próprio instrumento, fornecendo um intervalo confiável. Portanto utilizamos o uso do instrumento.

Com base em sua resposta, qual instrumento se mostrou mais apropriado para medir diâmetros de bolas com essas dimensões, o paquímetro ou o micrômetro? Explique sucintamente.

Resposta: O micrômetro, pois há uma precisão maior, notada pela menor medida do instrumento que é 0,01 mm, diferente do paquímetro, na qual sua menor medida é 0,05 mm.

Teste a esfericidade das bolas usando o micrômetro.

A partir do teste de esfericidade realizado com o paquímetro, identifique qual das bolas possui a maior esfericidade, isto é, menor variação de diâmetro.

Meça o diâmetro desta bola em 5 locais diferentes usando agora o micrômetro.

	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5
$\phi_{(v)}$	$(1587,3 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(1588,2 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(1587,5 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(1587,9 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$	$(1586,2 \pm 0,5) \cdot 10^3 \text{ mm}$

O que as medições com micrômetro permitem dizer sobre a esfericidade da bola? Justifique quantitativamente com base em suas medições.

Resposta: Percebemos que a bola de vidro tem variações maiores no diâmetro quando medido com o micrômetro, ultrapassando até o limite de incerteza do instrumento medidor.

Suponha que as bolas tenham sido fabricadas para serem esféricas. Baseando-se em seus dados, enuncie o valor do diâmetro da bola com incerteza apropriada.

$$\phi_V = (1587 \pm 1) \cdot 10^{-2} \text{ mm}$$

Compare suas especificações conforme enunciadas com o uso do paquímetro e do micrômetro. São compatíveis?

Resposta: Não são exatamente compatíveis, mas chegam a se aproximar muito, observando uma diferença de alguns milímetros entre os valores obtidos com os dois instrumentos. Também observa-se uma precisião maior com o micrômetro, como já dito em uma questão anterior.

4 Medição de densidade da peça cilíndrica [3.0 pontos]

Você determinará a *densidade da peça cilíndrica*, e com isso o tipo de material de que é composta. Isso se realiza de forma indireta. Você precisará determinar o *volume V* da peça. Isso só pode ser feito em alguns passos. Vamos determinar os volumes de três cilindros e combiná-los ao final (veja figura anterior):

1. Volume V_1 do cilindro com diâmetro ϕ_1 e altura h da peça; $\phi_1 = (23,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ mm}$ $h = (94,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ mm}$
2. Volume V_2 do cilindro com diâmetro ϕ_2 e altura h_2 ; $\phi_2 = (194,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ mm}$ $h_2 = (302,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ mm}$
3. Volume V_3 do cilindro com diâmetro ϕ_3 e altura h_1 . $\phi_3 = (248,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ mm}$ $h_1 = (94,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ mm}$

Utilize suas medições realizadas com o paquímetro no início deste experimento.

Escreva no quadro abaixo a expressão para o volume V_1 como função de ϕ_1 e h .

$$r_1 = \frac{\phi_1}{2} \Rightarrow (36,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ mm} \quad h = h_1 + h_2 \Rightarrow (396,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ mm}$$

$$V_1 = h \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_1}{2}\right)^2 \Rightarrow V_1 = \frac{1}{4} \cdot h \cdot \pi \cdot \phi_1^2$$

Vamos ser mais rigorosos agora com a propagação de incertezas, seguindo as regras explicadas na **Apostila 1**.

Calcule a incerteza σ_{V_1} a partir das incertezas σ_{ϕ_1} e σ_h e escreva abaixo sua expressão.

$$\sigma_{V_1}^2 \approx \left[\frac{\partial}{\partial \phi_1} V_1 \cdot \sigma_{\phi_1} \right]^2 + \left[\frac{\partial}{\partial h} V_1 \cdot \sigma_h \right]^2 \Rightarrow \sigma_{V_1} \approx \sqrt{\left[\frac{1}{2} \cdot \phi_1 \cdot h \cdot \pi \cdot \sigma_{\phi_1} \right]^2 + \left[\frac{1}{4} \cdot \phi_1^2 \cdot \pi \cdot \sigma_h \right]^2}$$

$$\sigma_{V_1} \approx 0,12 \text{ mm}^3$$

Escreva abaixo o valor de V_1 e sua incerteza σ_{V_1} resultantes de suas medições.

$$V_1 = (1657 \pm 9) \text{ mm}^3$$

Expressões similares são utilizadas para os cálculos de V_2 e V_3 , bem como de suas incertezas σ_{V_2} e σ_{V_3} . Preencha a tabela abaixo com seus valores.

$$V_2 = (893 \pm 2) \cdot 10 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = (454 \pm 1) \cdot 10 \text{ mm}^3$$

O volume da peça cilíndrica é dado simplesmente pela expressão $V = V_2 + V_3 - V_1$. Escreva no quadro abaixo a incerteza σ_V em termos de σ_{V_1} , σ_{V_2} e σ_{V_3} .

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_{V_1}^2 + \sigma_{V_2}^2 + \sigma_{V_3}^2}$$

Preencha abaixo seu valor obtido para o volume da peça bem como sua incerteza.

$$V = (1181 \pm 2) \cdot 10 \text{ mm}^3$$

A densidade da peça é calculada supondo-a homogênea, pela expressão $\rho = m/V$. Escreva no espaço abaixo a expressão da incerteza σ_ρ como função de σ_m e σ_V .

$$\sigma_\rho = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{V}\right)^2 + \left[\frac{-m \cdot \sigma_V}{V^2}\right]^2} \Rightarrow \sigma_\rho = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{V}\right)^2 + \left[\frac{-m \cdot \sigma_V}{V^2}\right]^2}$$

Escreva abaixo os valores obtidos para ρ e σ_ρ obtidos a partir de suas medições.

$$\rho = (1,50,0 \pm 0,3) \cdot 10^2 \text{ g/cm}^3$$

Com base nesses resultados, determine na tabela abaixo os materiais compatíveis com seus resultados experimentais, marcando sua(s) linha(s) correspondente(s) com um 'X'. Caso nenhum dos materiais abaixo seja compatível, sugira um material.

Material	Densidade	'X'
Polietileno de baixa densidade (LDPE)	0,93 g/cm ³	
Polietileno tereftalato (PET)	1,40 g/cm ³	
Policloreto de vinila (PVC)	1,41 g/cm ³	
Policloreto de vinila clorado (CPVC)	1,52 g/cm ³	X
Outro		

Justifique tecnicamente sua escolha no espaço abaixo.

Resposta: Com os cálculos realizados, obtivemos um resultado próximo à densidade do PVC.