



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

MEDIR É PRECISO?
(Guia do Professor)

Lohan Walker
Germano M. Penello
Gustavo Rubini

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Lohan Walker apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Outubro de 2022

SUMÁRIO

1. Introdução	3
2. Guia Experimental Parte I	4
2.1. ETAPA 1 – Introdução à leitura de instrumentos digitais e medidas diretas	4
2.2. ETAPA 2 – Faixa de medida do instrumento de	5
2.3. ETAPA 3 – Introdução à leitura de instrumentos analógicos e medidas indiretas	7
3. Guia Experimental Parte II	7
3.1. ETAPA 4 – Controle de variáveis e Teste de hipóteses	8
3.2. ETAPA 5 – Medidas de densidade da água em função do volume	8
3.3. ETAPA 6 – Organização e tratamento dos dados	9
3.4. ETAPA 7 – Interpretação de dados	9
3.5. ETAPA 8 – Conclusão	11
Referências	12
Sugestão de leitura	12
Apêndice A – Medida indireta de massa do copo descartável	13
Apêndice B – Estimativa de custo dos materiais utilizados	15

1. Introdução

Querido professor, esta é uma sequência experimental cujo objetivo é trabalhar com alunos de Ensino Médio assuntos relativos aos processos de medição a partir de medidas de massa, volume e densidade. As atividades envolvem discussão e prática sobre precisão, exatidão (ou acurácia), incertezas experimentais, Algarismos significativos, medidas diretas, medidas indiretas e uso de instrumentos de medição.

Este guia é dedicado a compartilhar com o professor definições e ideias mais profundas do que foram discutidas no guia do aluno e que fundamentam as atividades propostas.

Antes de comentar as atividades, é importante apresentar algumas definições que serão utilizadas ao longo do Guia Experimental com os alunos nos grupos.

Medição

“Processo de obtenção experimental dum ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza.” (VIM 2012, p.16)

Instrumento de medição

“Dispositivo utilizado para realizar medições, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares.” (VIM 2012, p.34)

Amplitude de medição

“Valor absoluto da diferença entre os valores extremos dum intervalo nominal de indicações.” (VIM 2012, p.38)

Incerteza de medição

“Parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.” (VIM 2012, p.24)

A sequência experimental foi desenvolvida para ser aplicada em aulas do 1º ano do Ensino Médio e pode ser adaptada para outros níveis de ensino com maior ou menor grau de aprofundamento. O guia experimental foi dividido em 2 partes, considerando duas aulas de dois tempos para cada uma das partes.

A parte 1 do Guia Experimental tem como objetivo fazer com que os alunos compreendam que uma medida pode ser composta por uma série de medições. Espera-se que os alunos percebam que é possível obter uma estimativa da incerteza através da média dos dados coletados. Além disso, será apresentado superficialmente o conceito de propagação de incerteza, por isso espera-se que o aluno aprenda minimamente sobre a propagação da incerteza associada a massa e ao volume, cálculo da densidade de líquidos, criação de hipóteses sobre um fenômeno e que toda medida experimental possui valor, incerteza e unidade de medida.

Na parte 2 do Guia Experimental o aluno novamente poderá exercitar conceitos já adquiridos, tais como: média, densidade, incerteza e uso de instrumentos de medida. Nesta nova parte os alunos verificarão padrões em medidas, tabelas e gráficos. Além disso, testarão hipóteses. Nos gráficos os padrões observados podem ser a amplitude de uma medida, desvio padrão e erro padrão.

As atividades do guia foram desenvolvidas considerando os níveis de progressão das ideias dos estudantes relativas aos dados experimentais, do menos desenvolvido (A) ao mais desenvolvido (I), conforme detalhado no quadro 1.

Quadro 1 - Progressão de ideias relativas aos dados experimentais (Fonte: FILHO, LABURÚ, BARROS, 2015, p.820).

Nível	Visão do estudante sobre o processo de medição
A	Realizar uma única medição e este é o valor correto.
B	A menos que você obtenha um valor diferente do esperado, a medição está correta.
C	Realizar algumas medições para praticar e, então, fazer a medição que deseja.
D	Repetir a medição até obter um valor recorrente. Este é a medição correta.
E	É necessário tirar uma média de diferentes medições. Variar sutilmente as condições para evitar obter os mesmos resultados.
F	Tirar uma média de várias medições para atender à variação devida a medições imprecisas. A qualidade do resultado pode ser julgada apenas por uma fonte confiável.
G	Tirar uma média de várias medições. A propagação de todas as medições indica a qualidade do resultado.
H	A consistência do conjunto de medições deve ser julgada e medições anômalas precisam ser rejeitadas antes de se tirar uma média.
I	A consistência dos conjuntos de dados pode ser julgada por comparação da localização relativa de suas médias em conjunção com suas propagações

2. Guia Experimental Parte I

Caro professor, para essa primeira parte do guia serão necessários 2 tempos de aula de 50 minutos cada.

ETAPA 1 – *Introdução à leitura de instrumentos digitais e medidas diretas*

O objetivo desta etapa é familiarizar os estudantes com o uso da balança digital, tanto na operação como na leitura, e fazer com que eles percebam que várias medições de um mesmo objeto podem resultar em valores distintos de leitura. Além disso, será mostrado ao aluno que é possível obter uma estimativa do valor de uma grandeza por meio da média dos dados coletados. Os estudantes também serão apresentados à ideia de incerteza experimental, que neste primeiro momento será estimada através da amplitude das medidas. O tempo de duração previsto para a etapa 1 é de 25 a 30 minutos.

Como sugestão, funções específicas para cada aluno podem ser criadas neste momento. Por exemplo, o aluno número 1 pode ficar responsável por controlar o tempo das atividades, o aluno número 2 como o porta voz do grupo, o aluno número 3 como responsável por conferir os cálculos, o aluno número 4 por fazer os registros por escrito, o aluno número 5 pode fazer as comparações entre grupos.

Nesta etapa a balança será utilizada pelos alunos na obtenção de medidas de massa de uma garrafa de plástico com líquido dentro, realizando assim uma medida direta.

“A medição direta ocorre quando temos apenas uma grandeza envolvida no processo e utilizamos diretamente o instrumento para obter o resultado desejado da medição”. (MENDES, ROSÁRIO, 2020, p.91)

Os grupos posicionarão a garrafa de plástico com água sobre a balança. A balança utilizada do modelo SF-400 utilizada em cozinhas. Deixe-os livres para colocar a garrafa em qualquer posição da balança, inclusive variando a posição entre uma medição e outra. A posição da garrafa no prato da balança pode influenciar o valor obtido na medição da massa. É possível que alguns grupos percebam isso e optem por posicionar a garrafa sempre na mesma posição para diminuir a dispersão dos dados.

Os grupos realizarão a média da massa dos dados indicados no **instrumento de medição**. Os alunos provavelmente não terão dificuldades de realizar a média dos dados obtidos, pois já estão familiarizados com a rotina de médias e notas no ambiente escolar devido a provas e testes.

É importante neste momento é deixar claro como se obtém uma estimativa da **incerteza de medição** calculando a metade da **amplitude de medição**.

Reforce com os alunos que toda medida (**medição**) experimental deve conter um valor, sua incerteza e a unidade de medida. Pode acontecer também dos alunos representarem a medida da massa com a incerteza como um intervalo de valores. Por exemplo, a medida “ $1,64 \pm 0,05\text{g}$ ” pode ser representada pelos alunos como “{1,59;169}”. Incentive os na utilização dessa representação também, pois isso os ajuda a entender que há uma faixa de valores associada à cada medida, ao invés de induzi-los a pensar em um único número exato.

Atenção, nesse momento para alguns alunos poderá ser o primeiro contato com incerteza de uma medida. Incentive-os a trocarem ideias e pensamentos uns com os outros. É fundamental que os alunos interajam entre si dentro do próprio grupo e com os outros grupos também.

Ao final da etapa I espera-se que os alunos percebam que a incerteza experimental é uma característica intrínseca ao processo de medição. Nesta etapa o aluno precisa começar a perceber a importância de um conjunto de medidas.

ETAPA 2 – Faixa de medida do instrumento

O objetivo desta etapa é explorar a faixa de medida do instrumento e conduzir os alunos a perceberem que é possível obter valores de massa para objetos cuja

massa é menor do que a balança consegue medir, com a balança utilizada. Essa etapa pode ser feita entre 25 e 30 minutos.

Nesta etapa os alunos colocarão sobre a balança um copo plástico cuja massa é menor do que o valor mínimo registrado pela balança, ou seja, a massa não se encontra na faixa de medida da balança. Portanto, o visor da balança apresentará o valor zero para a massa do copo. Incentive os alunos a interpretar o resultado e explicar o porquê a massa do copo não pode ser zero. Neste momento o aluno pode ser lembrado sobre a ação da força peso nos corpos que possui massa. Se preciso, um pequeno experimento pode ser feito. Ao posicionar um copo plástico a uma altura qualquer em relação ao solo e depois soltá-lo, será observado que o copo cai devido à ação da força peso, logo este copo possui massa.

Professor, caso você tenha uma balança com uma precisão menor procure materiais que tenham uma massa menor que a resolução da balança utilizada. Uma sugestão é a utilização de grãos de feijão, arroz, grampos de metal (utilizados em grampeadores) ou outra coisa que possua massa menor para balanças mais precisas.

Na tentativa de obter algum registro da massa do copo, alguns grupos podem investigar se a posição do copo na balança influencia a medição.

Após a atividade anterior ser realizada, é proposto a utilização de mais copos, totalizando 20 copos, para obtenção da massa de apenas 1 copo plástico. Algum aluno pode se questionar o porquê da utilização de 20 copos. Um detalhamento sobre o porquê de se utilizar pelo menos 20 copos pode ser encontrado no apêndice A deste guia experimental para o professor. É fundamental que o professor reproduza estes passos antes de fazer a atividade com os alunos.

Neste momento é importante os alunos entenderem a diferença entre uma medida direta (por exemplo a leitura do instrumento de medição) e uma medida indireta (a obtenção da massa de apenas 1 copo por meio de 20 copos). Estamos supondo que todos os copos são iguais. No caso da obtenção da densidade, realiza-se duas medições de forma direta, a massa (copo + líquido) e o volume, com isso é obtido a densidade que, neste caso, é uma medida indireta.

A medição indireta “ocorre quando as medições são efetuadas envolvendo uma ou mais grandezas relacionadas por meio de uma equação matemática”. (MENDES, ROSÁRIO, 2020, p.91)

Sobre a obtenção de densidade, sugere-se comentar sobre o densímetro, um instrumento de medição direta de densidade e que é comumente utilizado em postos de combustível para o controle da qualidade do etanol. Isso evita que os alunos pensem que a densidade somente pode ser medida de forma indireta.

No final da etapa 2 espera-se que os alunos tenham entendido o conceito de resolução de leitura de um instrumento e percebam que um instrumento de medida possui resolução. Além de aprender uma forma de obter indiretamente a medida da massa de um objeto.

ETAPA 3 – Introdução à leitura de instrumentos analógicos e medidas indiretas

O objetivo da etapa 3 é inserir mais um instrumento de medida aos alunos, a seringa, fazendo com que os alunos vejam e prevejam o comportamento de líquidos quando despejados lentamente em um único recipiente. O aluno também realizará a leitura da seringa (leitura analógica) e obterá a incerteza da mesma. Também será apresentado a definição de densidade de um líquido e propagação da incerteza associada à massa e ao volume.

Nesta etapa serão necessários cerca de 40 a 50 minutos para aplicação do Guia Experimental. Os alunos terão que obter as massas tanto de um copo com água e de um copo com óleo. Depois, terão que dizer qual sistema copo + líquido obteve uma maior massa, além de prever qual líquido, quando misturados, ficará embaixo ou em cima.

Água e óleo são líquidos que não se misturam; a água ficará embaixo e o óleo ficará em cima. Isso ocorre em função da densidade dos líquidos, porém os alunos ainda não possuem informações suficientes que sustentem esta explicação.

É possível que os alunos tragam espontaneamente várias explicações para a previsão deles. Dentre elas, é comum apresentarem como respostas os termos densidade, viscosidade, peso e massa, mesmo que os alunos ainda não tenham tido aula formal sobre alguns desses assuntos.

Lembre aos alunos de subtraírem a massa do copo utilizado anteriormente, pois neste momento o que se quer obter como medida é apenas a massa do líquido.

No final da etapa 3, espera-se que os alunos consigam calcular o valor da densidade da água e do óleo através da obtenção de dados de massa e volume, reforçando assim as definições e a utilização de medidas diretas e medidas indiretas. Que eles aprendam como a incerteza associada a massa e ao volume podem ser calculadas. Espera-se que os alunos se familiarizem com a utilização da seringa para a obtenção de dados experimentais, além de perceberem como é importante a análise de uma hipótese, terminando a parte I do guia experimental com a construção de duas hipóteses.

Os grupos precisarão ter o Guia Experimental Parte I em mãos durante a aplicação do Guia Experimental Parte II, para que possam rever o que foi feito na última aplicação do Guia. Por isso, é recomendado que o professor recolha todo o material ao final da aplicação da parte I para que na próxima aula de aplicação o guia possa ser devolvido ao grupo para a execução da parte II. Os grupos deverão ser mantidos os mesmos para a próxima aula.

3. Guia Experimental Parte II

A parte II do Guia Experimental é constituída de uma aula contendo 4 partes em que serão trabalhados o teste da validade de hipóteses a partir de novos dados coletados, juntamente com a comparação dos resultados, e a observação de padrões por análise gráfica.

Para a aplicação da parte II recomenda-se dois tempos de aula de 50 minutos. Para essa parte serão necessários os mesmos materiais da última aula.

ETAPA 4 – Controle de variáveis e Teste de hipóteses

Esta etapa tem como objetivo estimular os alunos a pensar em possibilidades experimentais a fim de descartar uma das hipóteses criadas anteriormente. Deste modo, é necessário que os grupos calculem a densidade da água e a densidade do óleo a partir de novas medidas de volumes e massas, prevejam e comparem os resultados obtidos com os já obtidos em etapas anteriores. A sugestão é que se utilize de 35 a 45 minutos para realizar esta etapa.

A primeira pergunta feita nesta etapa é a continuação da última feita na parte I do guia. Os alunos precisam agora elaborar testes para as duas hipóteses anteriores: hipótese A (explicação baseada na massa) e hipótese B (explicação baseada na densidade). Inicialmente ambas as hipóteses são plausíveis, porém com os novos dados que serão obtidos nesta etapa, os alunos deverão eliminar a hipótese A. É interessante comentar que a hipótese B não será comprovada, ela apenas não será refutada.¹

Ao longo desta etapa os grupos farão basicamente o mesmo processo que foi realizado na etapa 3 do Guia Experimental Parte I. Os grupos depois terão que medir a massa da água e a massa do óleo, porém com volumes diferentes do que foi medido anteriormente.

Os grupos também podem precisar de um auxílio para serem lembrados dos cálculos da densidade e incerteza, incluindo como obter os valores limites inferior e superior da densidade a fim de obter a estimativa da incerteza.

Em qualquer momento da aplicação do guia experimental os alunos podem perceber que o método possibilita encontrar a densidade de qualquer outro líquido. Incentive essa discussão, dando exemplos de líquidos que a densidade pode ser obtida, tais como: mel, azeite, vinagre, shampoo, por exemplo.

Um aspecto chave neste ponto é que os alunos percebam que há uma relação de proporcionalidade entre a massa e o volume dos líquidos utilizados. Por exemplo, ao dobrar o valor do volume da água, o valor da sua massa também dobra. Ou seja, os alunos terão um primeiro contato com a ideia de controle de variáveis para testagem de hipóteses e poderão constatar que a densidade dos líquidos utilizados permanece constante para a faixa de valores medidos.

Também é interessante que o professor comente que a temperatura de um líquido influencia na densidade, embora o controle desta variável esteja além do escopo da proposta deste guia.

Ao final desta etapa, espera-se que os alunos tenham conseguido lembrar todos os processos matemáticos utilizados para calcular a densidade da água e do óleo. Também é esperado que os alunos tenham adquirido uma maior fluência na utilização dos instrumentos de medida e que possam perceber que a densidade da água permanece constante dentro de uma faixa de valores aproximadamente iguais a temperatura constante.

ETAPA 5 – Medidas de densidade da água em função do volume

Esta etapa tem como objetivo reforçar o que já foi trabalhado anteriormente e obter novos dados que serão utilizados nas etapas seguintes. Serão necessários cerca de 10 a 15 minutos.

¹ Segundo o filósofo da ciência Karl Popper, as hipóteses científicas jamais podem ser confirmadas, somente refutadas. Recomenda-se o artigo de Silveira (1989) como um bom texto introdutório sobre o tema.

Ao final desta etapa, espera-se que os alunos tenham consolidado que toda medida precisa ter um valor, uma incerteza associada a esse valor e uma unidade de medida.

ETAPA 6 – *Organização e tratamento dos dados*

Esta etapa tem como objetivo o reconhecimento de alguns padrões depois do preenchimento da tabela 11 do guia do aluno. Esses padrões podem ser: medida da massa da água aumentar em função aumento do volume, valor da densidade permanecer relativamente constante durante as medições, estimativa da incerteza da densidade diminuir enquanto o volume aumenta. Nesta etapa serão necessários cerca de 15 a 25 minutos.

Ao final desta etapa, espera-se que, a partir do preenchimento da tabela, os alunos tenham percebido alguns padrões referentes aos dados coletados, especialmente a relação entre o aumento do volume do líquido e a diminuição do valor da incerteza da densidade. Também é possível trabalhar com os alunos a noção de incerteza relativa em relação às medidas de volume da água. Os alunos vão perceber que quanto maior o número de medidas, menor é a estimativa de incerteza obtida, e maior é a precisão da medida.

A precisão pode ser definida como “o grau de concordância entre valores medidos, obtidos por medições repetidas, de um mesmo objeto” (VAZ; DAVID; VIDEIRA, 2016, p.33).

ETAPA 7 – *Interpretação de dados*

Esta etapa será feita pelo professor em conjunto com todos os grupos e tem duração estimada entre 20 a 25 minutos. A atividade tem como objetivo fazer que os alunos possam compreender que aumentar a quantidade de medições aumenta a precisão da medida. Os alunos também precisam avaliar a acurácia e a precisão de suas medidas e compará-las com os dados dos demais grupos. A partir dos dados, espera-se que tenham mais resultados que confirmem que a densidade da água é constante dentro da faixa de valores medidos (para uma mesma temperatura).

Nesta etapa serão apresentados de maneira breve conceitos os conceitos de desvio padrão, erro padrão e exatidão (ou acurácia):

O desvio padrão é uma medida que representa o quão espalhados o conjunto de dados estão da média, ou seja, descreve a dispersão ou variabilidade do conjunto de dados.

O erro padrão é uma medida que procura representar a precisão do valor médio de um conjunto de dados, ou seja, infere a dispersão ou variabilidade da média do conjunto de dados.

“A exatidão de medição é o grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de uma grandeza.” (VAZ; DAVID; VIDEIRA, 2016, p.33)

O professor utilizará os dados que os grupos obtiveram para mostrar, através de uma planilha eletrônica (tabela 1) alguns padrões encontrados a partir dos próprios dados dos alunos. Isso facilitará a avaliação da consistência do conjunto de dados de cada grupo, bem como a sua comparação com os resultados dos demais grupos e com o valor de referência.

Tabela 1 – Planilha eletrônica utilizada na etapa 7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	n	volume (ml)	massa (g)	Valor de Referência (g/ml)	Densidade (enésima medição) (g/ml)	Densidade (média entre as n medições) (g/ml)	Amplitude (entre as n medições) (g/ml)	Desvio Padrão (g/ml)	Erro Padrão (g/ml)
2	1	20							
3	2	40							
4	3	60							
5	4	80							
6	5	100							

A tabela 2 apresenta um exemplo dos resultados obtidos por um grupo de alunos.

Tabela 2 - Tabela preenchida com os dados obtidos por um grupo de alunos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	n	volume (ml)	massa (g)	Valor de Referência ² (g/ml)	Densidade (enésima medição) (g/ml)	Densidade (média entre as n medições) (g/ml)	Amplitude (entre as n medições) (g/ml)	Desvio Padrão (g/ml)	Erro Padrão (g/ml)
2	1	20	18,6	0,9970	0,930	0,930	-	-	-
3	2	40	41,0	0,9970	1,025	0,978	0,095	0,067	0,047
4	3	60	59,8	0,9970	0,997	0,984	0,095	0,049	0,028
5	4	80	79,0	0,9970	0,988	0,985	0,095	0,040	0,020
6	5	100	98,0	0,9970	0,980	0,984	0,095	0,035	0,015

O arquivo da planilha está disponibilizado junto com este guia³. Na eventualidade de você não ter recebido a planilha, descreve-se a seguir como reconstruí-la e utilizá-la.

A coluna “Densidade (enésima medição)” corresponde à densidade obtida pela razão entre massa e volume para cada linha. Logo, a densidade para a linha n = 4 pode ser programada para preenchimento automático digitando “=C5/B5” na célula E5. Este comando dividirá a célula C5 (o valor da massa para n = 4) pela célula B5 (o valor do volume para n = 4).

A coluna “Densidade (média entre as n medições)” fará a média entre as n medições de n = 1 até a linha n correspondente. Ou seja, para a linha n = 4, será feita

² LIDE (2004, p. 4-94)

³ https://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2022_Lohan_Walker/planilha.xls

a média entre as densidades (coluna E) das linhas correspondentes a $n = 1$ até $n = 4$. Como exemplo, a célula F5 deve ser preenchida com o comando “=MÉDIA(E2:E5)”.

A coluna “Desvio Padrão” pode ser calculada pelo programa através da função desvio padrão da amostra (DESVPAD.A) e selecionando o intervalo de dados desejado. Por exemplo, para o desvio padrão da linha $n = 4$, deve-se escrever “=DESVPAD.A(F2:F5)” na célula H5. Em outras palavras, na célula H5 será calculado o desvio padrão da amostra a partir dos dados das células F2, F3, F4 e F5.

A coluna “Erro Padrão” é obtida dividindo-se o valor do desvio padrão por raiz quadrada de n . Portanto, para o erro padrão da linha $n = 4$ deve-se escrever “=H5/RAIZ(A4)” na célula I5.

Obs. Dependendo do programa de planilha eletrônica utilizada, as funções acima podem ter nomes diferentes; consulte a ajuda do programa para conferir o nome das funções.

Após o preenchimento da tabela, é interessante criar um gráfico para facilitar a visualização dos dados. Selecione as colunas “ n ” e “Densidade (média entre as n medições)” e insira um gráfico de dispersão. Será mostrado um gráfico onde será possível observar os resultados de densidade média em função das n medidas. Selecione os pontos do gráfico e procure como inserir barras de erro (varia de acordo com o programa); a barra de erro do eixo Y deve corresponder ao erro padrão.

A figura 1 apresenta um exemplo de gráfico do valor de densidade da água em função do número de medidas, gerado a partir da tabela 2. Os grupos deverão observar os gráficos para responder às perguntas da etapa 7.

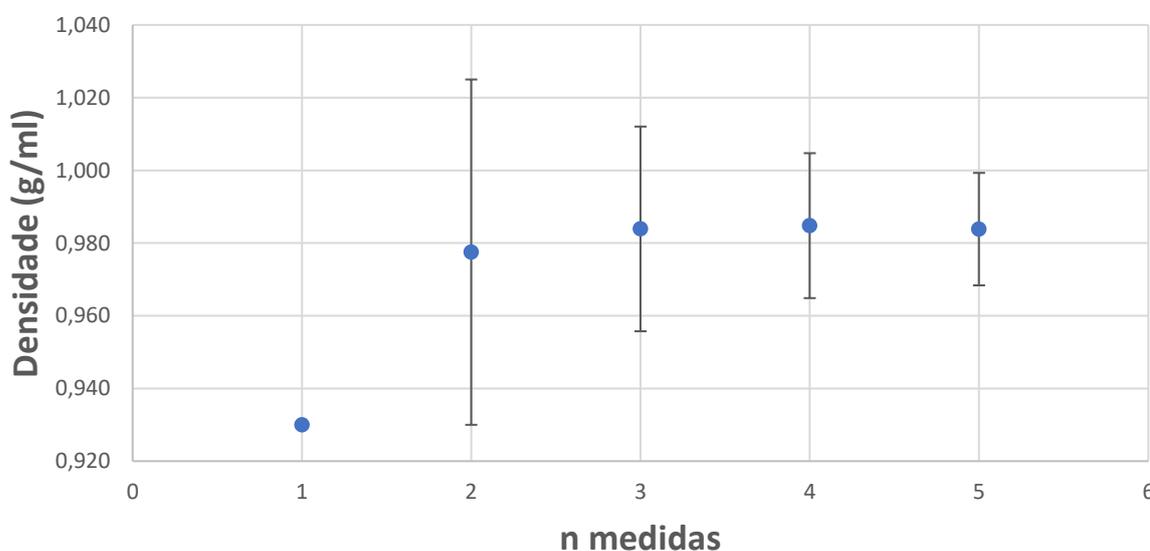


Figura 1 - Gráfico do valor da densidade da água em função do número de medidas

ETAPA 8 – Conclusão

Após a discussão dos resultados, este é o momento para os grupos refletirem sobre o que foi feito e revisarem alguns dos conhecimentos trabalhados ao longo das atividades do Guia Experimental; sugere-se uma duração de aproximadamente de 10 minutos.

Ao final da aplicação do material espera-se que os alunos tenham entendido um pouco mais de alguns dos processos da ciência: raciocínio científico, testagem de

hipóteses, controle de variáveis e práticas de laboratório. Mais especificamente, os alunos precisam ter compreendido que uma única medida não é suficiente para representar o melhor valor de uma medição, nem que essa única medida é o valor verdadeiro. Os alunos precisam estar cientes que uma medida mais precisa pode ser obtida a partir de um conjunto de medições. Além disso, os alunos devem ter compreendido que toda medida deve possuir um valor, uma incerteza associada a essa medição e uma unidade de medida.

Em linhas gerais, espera-se que as atividades tenham contribuído no desenvolvimento das ideias dos alunos relativas aos dados experimentais apresentados no quadro 1. Este processo de evolução é longo e trabalhoso, mas estas atividades podem ser um pequeno passo neste sentido e certamente devem ser complementadas com outras práticas.

Professor, caso queira mais informações, um detalhamento maior se encontra na dissertação (WALKER, 2022).

Referências:

FILHO, P.; LABURÚ, C.; BARROS, M. Para além dos paradigmas da medição. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 21, n. 4, p. 817-834, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320150040003>

LIDE, D. R (ed.). **Handbook of Chemistry and Physics**, 84th Edition, CRC Press Ltd., 2004.

MENDES, Alexandre; ROSÁRIO, Pedro Paulo Novellino do; **Metrologia e incerteza de medição: conceitos e aplicações**. 1ª ed, Rio de Janeiro: LTC, 2020.

SILVEIRA, F. L. A Filosofia de Karl Popper e suas implicações no Ensino da Ciência. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, 6 (2): 148-162 , ago. 1989.

VAZ, Rafael de Oliveira; DAVID, Mariano; VIDEIRA, Antonio Augusto Passos; Para medir o mundo e suas coisas; Uma breve história (com elementos filosóficos) da metrologia. In: **Ciência Hoje**, 334, v.56, 2016.

Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Duque de Caxias, RJ : INMETRO, 2012. 94 p.

WALKER, Lohan. **Medir é preciso?** 2022. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Instituto de Física. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2022. Disponível em:
http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2022_Lohan_Walker/dissertacao_Lohan_Walker.pdf. Acesso em 20/12/2022.

Sugestão de leitura:

STEFFENS, C. A.; VEIT, E. A.; SILVEIRA, F. L. Uma introdução ao processo da medição no ensino médio. **Textos de apoio ao professor de física**, v.19, n.2. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2008. Disponível em:
https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v19n2_Steffens_Veit_Silveira.pdf. Acesso em 16/07/2022.

Apêndice A – Medida indireta de massa do copo descartável

Este apêndice apresenta os resultados das medições de massa dos copos descartáveis e fundamenta a utilização de 20 copos na etapa 2. Os alunos podem se perguntar porque não menos copos ou porque não mais copos? Abaixo segue na tabela A.1 os dados das massas registradas na leitura da balança em relação ao número de copos colocados sobre a balança.

Tabela A.1: Dados com o número de copos colocados sobre a balança e a massa registrada na leitura da balança.

n copos	Massa total (g)	Massa de 1 copo (g)	Estimativa de incerteza da massa de 1 copo (g)
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	5	1,25	0,25
5	7	1,40	0,20
6	9	1,50	0,17
7	11	1,57	0,14
8	12	1,50	0,13
9	14	1,56	0,11
10	15	1,50	0,10
11	16	1,46	0,09
12	18	1,50	0,08
13	20	1,54	0,08
14	21	1,50	0,07
15	23	1,53	0,07
16	24	1,50	0,06
17	26	1,53	0,06
18	27	1,50	0,06
19	29	1,53	0,05
20	30	1,50	0,05

A estimativa da incerteza da massa total foi considerada 1g, pois para esses valores de massa a balança apresentou uma estabilidade em 1g de incerteza. A massa de um copo foi calculada pela divisão entre o número da massa total e os n copos usados. Para obtenção a estimativa da massa de apenas um copo foi utilizado a estimativa da incerteza da massa total dividido pelos n copos utilizados.

De acordo com os dados obtidos na tabela A.1, foi feito um gráfico (figura A.1) que mostra a relação do número de copos plásticos com a massa total medida. Pode ser visto que a balança possui um número mínimo de massa em que começa a ser registrado algum valor (neste caso são necessários 4 copos).

Um outro gráfico que pode ser visto na figura A.2 é o que relaciona o número de copos com a massa de apenas 1 copo. Conforme aumenta-se o número de copos, a incerteza da massa de um único copo diminui.

A partir destes resultados apresentados, optou-se pela quantidade de 20 copos para a determinação da massa de um único copo.

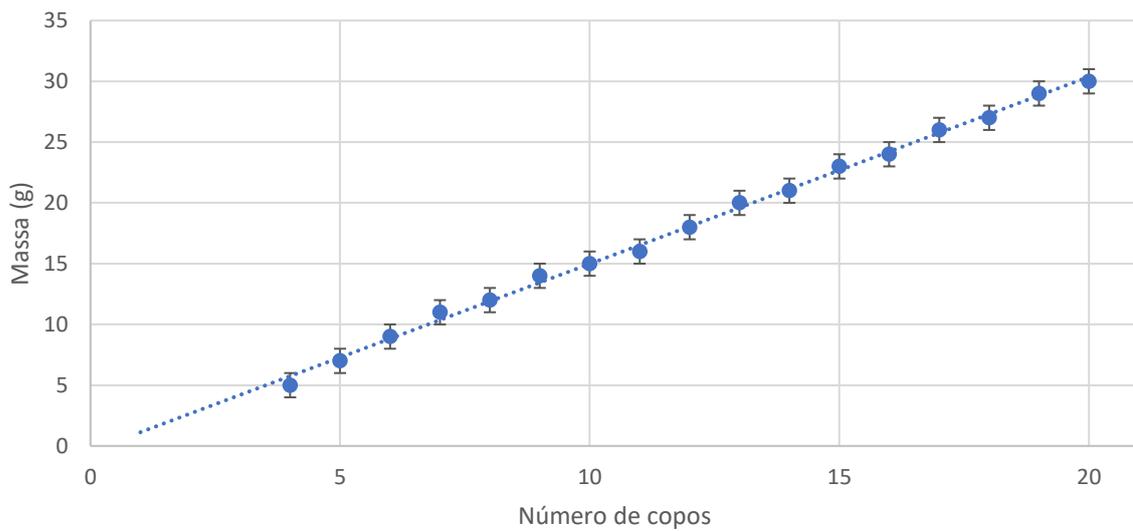


Figura A.1: Relação do número de copos plásticos com a massa obtida na leitura da balança modelo.

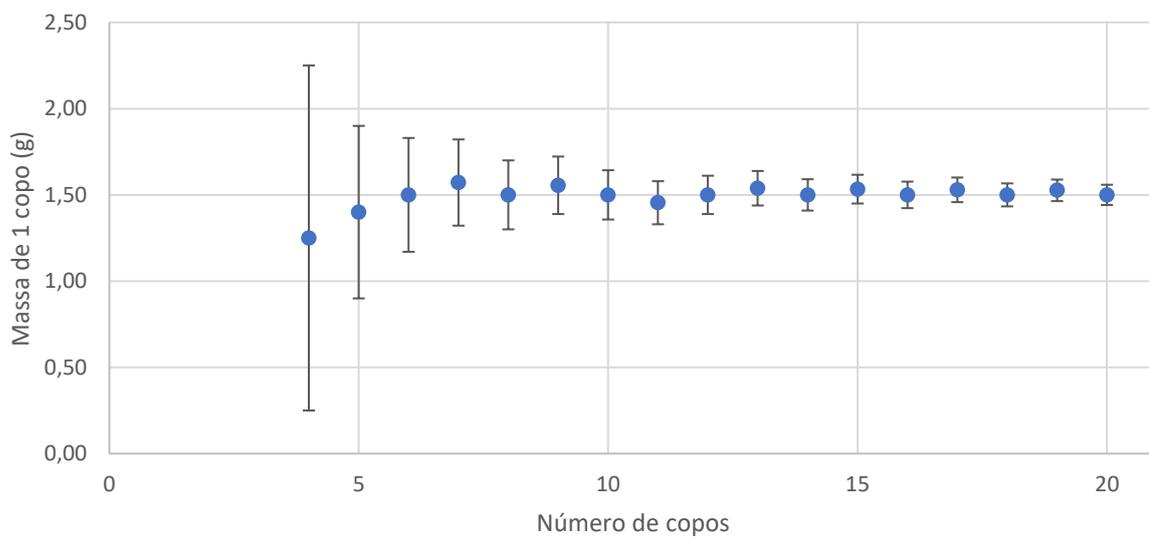


Figura A.2: Estimativa da massa de 1 copo descartável em função do número de copos medidos.

Apêndice B – Estimativa de custo dos materiais utilizados

Abaixo segue a lista do material utilizado e a sua estimativa de custo em 17/07/2022:

- ✓ Balança digital – R\$ 30,00 (unidade);
- ✓ Seringa de 20 ml – R\$ 20,00 (10 unidades);
- ✓ Copos descartáveis de 200 ml – R\$ 7,00 (100 unidades);
- ✓ Garrafas de plástico – R\$ 2,00 (unidade);
- ✓ Óleo de soja – R\$ 12,00 (1 litro);
- ✓ Água – Use a água da torneira - custo zero;
- ✓ Calculadora – Os alunos podem utilizar a calculadora de seus telefones celulares - custo zero.

Custo total estimado para 5 kits de material: R\$ 199,00.