



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?

Lohan Walker

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:
Germano Maioli Penello
Gustavo Motta Rubini

Rio de Janeiro
Outubro de 2022

MEDIR É PRECISO?

Lohan Walker

Orientadores:
Germano Maioli Penello
Gustavo Motta Rubini

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dr. Germano Maioli Penello (Presidente)

Dr. Gustavo Motta Rubini

Dra. Camilla Ferreira de Sá Codeço

Dra. Daniela Szilard Le Cocq D'Oliveira

Dr. Roberto Affonso Pimentel Júnior

Rio de Janeiro
Outubro de 2022

CIP - Catalogação na Publicação

W181m Walker, Lohan
Medir é preciso? / Lohan Walker. -- Rio de Janeiro, 2022.
116 f.

Orientador: Germano Maioli Penello.
Coorientador: Gustavo Motta Rubini.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, 2022.

1. Ensino de Física. 2. Medição. 3. Paradigma de Conjunto. 4. Experimento de Baixo Custo. 5. Densidade. I. Maioli Penello, Germano, orient. II. Motta Rubini, Gustavo, coorient. III. Título.

Dedico o resultado desta caminhada acadêmica, em primeiro lugar, à minha família, base da minha força. Dedico esta dissertação a todos que me apoiaram e me incentivaram nesta longa caminhada.

Agradecimentos

Agradeço à minha família, pois sem eles eu não seria nada.

Agradeço a Júlia, minha amada esposa, por todo incentivo e compreensão.

Agradeço enormemente aos professores do curso de mestrado profissional em Ensino de Física da UFRJ por toda a forma de conhecimento e experiência transmitidos.

Agradeço aos amigos que sempre me inspiram a ser melhor.

Agradeço minha avó Lídia, que sempre está presente no meu coração.

Agradeço aos meus orientadores Germano e Gustavo que sempre acreditaram em mim. Agradeço o apoio e motivação incondicional que ajudou a tornar este trabalho real.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

MEDIR É PRECISO?

Lohan Walker

Orientadores:

Germano Maioli Penello

Gustavo Motta Rubini

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O presente trabalho tem como objetivo fazer com que os alunos do Ensino Médio aprendam conceitos relacionados à medição e à física experimental. Estudos da área de Pesquisa em Ensino de Física afirmam que os alunos possuem pouco contato com experimentos em sala de aula e que os professores não se sentem capacitados para desenvolver essas atividades. A sequência de atividades desenvolvida nesta dissertação é baseada nas ideias do Paradigma Pontual e do Paradigma de Conjunto, que exploram as ideias dos alunos relacionadas à medição, e resultou na elaboração de um guia experimental (versão do aluno e do professor). Os materiais utilizados na proposta são de baixo custo, de fácil utilização, transporte e obtenção. O guia tem como pano de fundo norteador uma sequência didática experimental sobre a densidade de líquidos, onde são discutidas a precisão e a acurácia das medidas, bem como construção e teste de hipóteses. Após a aplicação do guia, foi observada uma evolução na visão dos alunos sobre o processo de medição, como esperado. Esta dissertação foi elaborada para enfatizar a importância do método científico na educação e formação do aluno, destacando a participação ativa do estudante na obtenção e análise de dados experimentais.

Palavras-chave: Ensino de Física; Medição; Paradigma de Conjunto; Experimento de Baixo Custo; Densidade.

Rio de Janeiro
Outubro de 2022

ABSTRACT

MEDIR É PRECISO?

Lohan Walker

Supervisors:

Germano Maioli Penello

Gustavo Motta Rubini

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This work aims to teach measurement concepts and experimental physics skills to High School Physics students. Physics Education studies reveal that students have few opportunities to do experiments in classroom and that teachers do not feel that they are well trained to develop these activities. The sequence of activities developed in this dissertation is based on Point and Set Paradigms ideas, which explores the student's views concerning measurement, and resulted in the elaboration of an experimental guide (student version and teacher version). The materials necessary for the proposed activities are low cost, easy to use, to transport and to obtain. The guide background is a sequence of classroom experiments on liquid density, that is used to discuss measurement precision and accuracy and also to construct and test hypotheses. It was possible to observe, as it has been expected, an evolution on the measurement process perception by the students. This dissertation was developed aiming to emphasize the importance of the scientific method to the education and training of the students, highlighting their active role on obtaining and analyzing experimental data.

Keywords: Physics education; Measurement; Set Paradigm; Low cost experiment; Density.

Rio de Janeiro
October 2022

Sumário

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 PARADIGMAS DE MEDIÇÃO	12
2.1.1 Paradigma Pontual (PP)	13
2.1.2 Paradigma de Conjunto (PC)	14
2.2 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA E CIÊNCIAS	16
2.3 NOÇÕES DE FÍSICA EXPERIMENTAL E METROLOGIA	17
2.4 TRABALHOS RELACIONADOS	19
2.5 OBJETIVOS	22
3 DESENVOLVIMENTO	24
3.1 VERIFICANDO A DENSIDADE DE LÍQUIDOS	24
3.1.1 Entendendo o equipamento e conferindo sua precisão	24
3.1.2 Investigando métodos de obtenção da densidade da água	30
3.1.3 Calculando a densidade de outros líquidos	35
3.2 ETAPAS DO GUIA EXPERIMENTAL DO ALUNO	40
3.2.1 Etapa 1	41
3.2.2 Etapa 2	41
3.2.3 Etapas 3 e 4	44
3.2.4 Etapa 5	47
3.2.5 Etapa 6	47
3.2.6 Etapa 7	47
3.2.7 Etapa 8	48
4 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO GUIA EXPERIMENTAL	49
4.1 PARTE I	49
4.2 PARTE II	59
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE A - GUIA DO PROFESSOR	80
APÊNDICE B - GUIA DO ALUNO	96

1 INTRODUÇÃO

Muito se sabe sobre a importância que o ensino experimental possui na ciência, em especial na física. Alguns autores como Hofstein e Lunetta (2004) afirmam a centralidade que existe no trabalho experimental no ensino de ciências. Porém, ao mesmo tempo, os professores possuem dificuldades na prática experimental em sala de aula, seja por ausência de condições de infraestrutura escolar ou por causa de um planejamento de conteúdo sem espaços para uma aula experimental. Devido a estes fatos, foi escolhido trabalhar experimentalmente o conteúdo da densidade por meio de noções de metrologia.

Assuntos como medição, densidade, cálculo de médias, interpretação de resultados, previsões experimentais e elaboração de hipóteses fazem parte da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A partir da BNCC, refletiu-se sobre o conhecimento dos alunos com relação a assuntos relacionados à medição (que faz parte da metrologia), que pode ser definida como “ciência da medição e suas aplicações” (VIM 2012, p.16) e densidade. Até que ponto os alunos entendem o que é uma medida, ou até mesmo se sabem obter, por meio de instrumentos de medida, os dados necessários para obtenção do valor da densidade, através da massa e do volume? Eles conseguem calcular a média e estimar a incerteza de uma medida a partir dos dados coletados? Sabem prever e descartar hipóteses sobre um fenômeno físico? São capazes de analisar padrões gráficos e interpretá-los?

Por meio da leitura do artigo de Camargo Filho, Laburú e Barros (2015), observou-se que os alunos possuem diversas visões acerca de medição. Existem dois pensamentos sobre medição, um pensamento pontual e um pensamento de conjunto. O pensamento pontual se chama Paradigma Pontual (PP), retrata o pensamento do aluno de que um único valor medido pode ser considerado um valor correto. O pensamento de conjunto se chama Paradigma de Conjunto (PC), que parte do princípio de que é necessário realizar diversas medidas a fim de ser obtido um valor com uma estimativa de incerteza, que esteja preciso e acurado em relação a um valor de referência. Devido a esse fato, o objetivo da dissertação é ajudar os alunos a entenderem melhor conceitos relacionados à medição e à física (densidade) por meio de um roteiro de atividades experimentais. Os materiais necessários para as atividades propostas são de baixo custo, de fácil utilização e transporte, podendo assim serem inseridos, sem grandes dificuldades, no planejamento de aulas de um professor do Ensino Médio.

A presente dissertação foi estruturada em cinco capítulos mais apêndices, divididos de forma a explorar em maiores detalhes a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica, as

etapas experimentais, a metodologia para a aplicação do guia do aluno em sala de aula e a discussão dos resultados. A seguir, será apresentado uma breve descrição do que será abordado em cada capítulo.

No capítulo 2 da dissertação encontra-se uma revisão bibliográfica sobre o ensino de ciências, em especial a física experimental, sobre noções de metrologia referentes ao ensino de física e trabalhos relacionados ao tema da densidade. Também foi utilizado o referencial teórico sobre os paradigmas da medição presentes no artigo de Camargo Filho, Laburú e Barros (2015), que será a base para a construção do produto educacional associado a esta dissertação.

No capítulo 3 é discutido como se chegou à metodologia utilizada e como ela foi planejada para aplicação em sala de aula. Para obter a densidade de líquidos, em um primeiro momento foi necessário entender o equipamento de medida e conferir sua precisão, fazendo assim uma estimativa da incerteza da balança utilizada. O segundo passo foi investigar métodos para a obtenção de medidas de massa e volume a fim de encontrar a densidade de líquidos. Foram utilizados alguns instrumentos de medida para a obtenção dos dados experimentais. Depois, foram gerados e analisados os gráficos referentes aos dados experimentais. No terceiro passo foram calculadas as densidades de alguns líquidos. Com base nos resultados, verificou-se qual dentre os instrumentos de medida seria o mais adequado em termos de precisão e acurácia de acordo com o objetivo da proposta didática.

Depois de discutidos o processo para obtenção da densidade de líquidos, foi possível estruturar a construção do guia experimental do aluno. O guia foi elaborado em etapas, a fim de que novos conceitos acerca do PP e PC possam ser confrontados pelos alunos durante a realização dos itens de cada etapa. No guia experimental do aluno (apêndice B), o estudante poderá fazer atividades com o intuito de que os conceitos sobre o PC se tornem parte do seu pensamento científico.

No capítulo 4 desta dissertação são mostrados os resultados da aplicação do guia experimental em duas turmas, uma do 1º ano do ensino médio e a outra no 3º ano do ensino médio. Por meio da análise dos resultados, foi possível identificar características que ligassem os alunos aos paradigmas de medição, podendo assim verificar a evolução conceitual dos alunos ao longo das etapas do guia. Em certos momentos do guia experimental foram observados alguns alunos com pensamentos que se relacionam com o PP, sendo assim com pensamentos errados sobre medição. Em outros momentos os mesmos alunos começam a entender o pensamento de conjunto de dados acerca de medição e sua importância. Foi possível observar ao longo das atividades que os alunos aprenderam assuntos relacionados a noções de metrologia

e densidade de líquidos. Os alunos entenderam que uma única medida não é suficiente para representar o valor mais adequado de uma medida, nem que essa única medida é o valor verdadeiro. Além disso, reforçaram e aprenderam assuntos como média, estimativa de incerteza, medidas diretas e indiretas, raciocínio científico, testagem de hipóteses, controle de variáveis e práticas de laboratório. Os resultados da aplicação são positivos e satisfatórios. Os alunos gostaram e demonstraram interesse em fazer as atividades.

No capítulo 5 são apresentadas as considerações finais com relação ao trabalho. É mostrada, a partir dos resultados obtidos, a visão dos alunos com relação à medição por meios das perguntas feitas aos alunos no guia experimental. Notou-se em alguns grupos uma modificação na visão dos alunos com relação a assuntos sobre medição. Os alunos conseguiram utilizar os instrumentos de medida para a obtenção da densidade de líquidos. Além disso, o guia do aluno se mostrou de fácil utilização, acesso e de baixo custo, podendo ainda ser utilizado em diferentes níveis de ensino, modificando apenas o nível de profundidade dos conteúdos.

No apêndice A encontra-se o guia do professor, onde podem ser obtidas orientações sobre como proceder na aplicação do guia com os alunos em sala de aula. Por meio do guia, o professor pode verificar cada uma das etapas referente à aplicação do guia para os alunos, contendo discussões mais aprofundadas, tais como uma reflexão acerca da medida indireta de massa, além de uma estimativa dos custos dos materiais utilizados. Foi disponibilizado juntamente com o guia do professor a planilha eletrônica utilizada na aplicação do guia experimental do aluno. A criação e elaboração da planilha eletrônica utilizada também podem ser encontrados no guia do professor.

No apêndice B encontra-se o guia experimental do aluno contendo a lista de materiais necessários e a sequência de atividades que os alunos devem realizar. Nele estão contidos assuntos relacionados à física e à metrologia, tais como média, estimativa de incerteza, unidade de medida, algarismo significativo, manuseamento de instrumentos de medida, densidade, testagem de hipóteses, observação de padrões gráficos e físicos, precisão e acurácia. O guia é dividido em 2 partes. Por isso, a recomendação é que se use duas aulas consecutivas de 1h40 cada para a aplicação do guia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentadas justificativas para elaboração do trabalho sobre o método de baixo custo para obtenção de densidade de líquidos. Existem alguns pontos que motivam a origem deste trabalho, entre eles o fato de existir no ensino de física, uma virtual carência de experimentação em sala de aula e a ausência de tópicos relacionados à medição e ao pensamento científico; Steffens (2008) e Steffens, Veit e Silveira (2008) são exemplos de exceções notáveis.

2.1 PARADIGMAS DE MEDIÇÃO

Existem dificuldades por parte dos estudantes quando se analisa a compreensão deles sobre os assuntos relacionados à medição. Camargo Filho, Laburú e Barros (2015) apresentam resultados de pesquisas acerca da compreensão e raciocínio dos estudantes sobre medição e explicam diversas questões sobre a importância desse assunto. Adicionalmente, Laburú (2005), Séré (2002), Welzel et al (1998) e Journeaux e Séré (1994) falam da importância das medidas e de suas incertezas no ensino. Todos afirmam que tais assuntos estão no cerne da ciência empírica, além de serem considerados fundamentais para a educação científica. Além disso, foi realizado um grande estudo feito por Leach (2002) com 600 estudantes de alguns países da Europa. Os resultados afirmam que 60% dos estudantes creem que existe uma medida perfeita, ou seja, que é possível obter uma medida sem incerteza alguma. Isso mostra como os alunos buscam nas atividades experimentais por um valor verdadeiro para uma medição.

O Quadro 2.1 (CAMARGO FILHO; LABURÚ; BARROS, 2015, p.821) apresenta níveis progressivos sobre os raciocínios dos estudantes “referentes à coleta, processamento e comparação de dados”. Estes níveis podem ser agrupados nas seguintes subdivisões: Raciocínio Pontual (níveis A a D), Raciocínio de Conjunto Básico (níveis E e F) e Raciocínio de Conjunto Avançado (níveis G a I). O Raciocínio Pontual está associado ao Paradigma Pontual (PP) e os Raciocínios de Conjunto Básico e de Conjunto Avançado estão associados ao Paradigma de Conjunto. Estes paradigmas serão comentados em mais detalhes nas subseções 2.1.1 e 2.1.2.

Quadro 2.1 – Progressão de ideias relativas aos dados experimentais. Fonte: Camargo Filho, Laburú e 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

2.1.1 Paradigma Pontual (PP)

O PP surge da premissa de que existe um valor verdadeiro a ser encontrado e que cada medida independente pode ser considerada como esse valor. Isso “resulta que a medição é vista como condutora a um único valor pontual em vez de estabelecer-se como um intervalo de valores” (CAMARGO FILHO; LABURÚ; BARROS, 2015, p. 821).

O PP se constrói no aluno ao longo da vida por meio da vivência do dia a dia. Alguns autores (COELHO; SÉRE, 1993 apud BUFFLER; ALLIE; LUBBEN, 2001, p. 1138) acreditam que as atividades escolares constroem pensamentos ingênuos sobre a ideia de que se o experimento ou o instrumento utilizado estiver em perfeitas condições, apenas uma única medida é a correta e além disso suficiente. Masnick e Klahr (2003, p. 88) observaram que crianças na faixa etária dos sete aos dez anos nem ao menos têm ideia de usar média para representar um conjunto de dados.

Lubben e Millar (1996) dizem que aprendizes, com idades entre onze e dezesseis anos, declaram que repetir medidas é perda de tempo e, dependendo da situação, desperdício de material, pois o resultado de uma medida é tão bom quanto qualquer outro. Adicionalmente foi observado que muitos alunos entre quatorze e dezessete anos acabam terminando seus estudos de laboratório com a ideia de que a incerteza fica inteiramente eliminada ao ser realizada uma única medida e que a relação entre um conjunto de medidas e a incerteza

associada pode ser claramente definida (COELHO; SÉRÉ, 1993 apud BUFFLER; ALLIE; LUBBEN, 2001, p. 1138).

2.1.2 Paradigma de Conjunto (PC)

Em contrapartida ao PP, existe o PC que se sustenta pela ideia de que cada medição é uma aproximação do valor “verdadeiro ou alvo” (LUBBEN et al., 2001, p. 38). O PC se baseia na ideia de que é necessário a realização de várias medições para se obter uma distribuição em torno de um valor específico, sendo necessária a realização de ferramentas operacionais (que incluem procedimentos formais matemáticos, tais como média e desvio padrão) para poder então caracterizar as medições (LUBBEN et al., 2001, p. 312). Os autores Camargo Filho, Laburú e Barros (2015, p.823) afirmam que:

Para Buffler, Allie e Lubben (2001), os estudantes devem dominar ferramentas e procedimentos de análise de dados (ações) e aprofundar a sua compreensão da natureza da medição científica (raciocínio) como parte de seu desenvolvimento em métodos científicos.

Os Quadros 2.2 e 2.3 mostram as ações e raciocínios dos alunos em cada fase da medição no PP e no PC, respectivamente. São divididas as fases da medição em: coleta, processamento via cálculo, processamento via gráfico linear, comparação qualidade dos dados e comparação conjunto de dados. Em cada uma dessas fases é explicado qual ação os estudantes irão tomar mediante a uma medição e qual foi o raciocínio para que esta ação fosse tomada.

Quadro 2.2 - Ações e raciocínios associados com o Paradigma Pontual. Fonte: Camargo Filho, Laburú e Barros (2015, p. 822).

	Fase da medição	Ação	Raciocínio
Paradigma pontual	<i>Coleta</i>	Não é necessário repetir a medição. Repete-se para encontrar um valor recorrente; repete-se para praticar.	A medição direciona a um único valor, ao invés de contribuir para um intervalo. Uma única boa medição é suficiente.
	<i>Processamento via cálculo</i>	Uma única (melhor) medição, por exemplo, o valor recorrente, é selecionado para representar o valor verdadeiro.	Cada medição é independente de todas as outras e pode, a princípio, ser o valor verdadeiro.
	<i>Processamento via gráfico linear</i>	Todos os pontos unidos por múltiplos segmentos de linha ou uma única linha por meio de dados selecionados.	A tendência dos dados é mais bem representada quando são selecionados certos valores particulares.
	<i>Comparação conjunto de dados</i>	Comparação de valor por valor de dois conjuntos, ou uma comparação baseada na “proximidade” das médias (se fornecidas).	Não há necessidade de repetir as medições, portanto, as comparações são feitas sobre os valores individuais.

Quadro 2.3 - Ações e raciocínios associados com o Paradigma de Conjunto. Fonte: Camargo Filho, Laburú e Barros (2015, p. 823).

Paradigma de conjunto	Fase da medição	Ação	Raciocínio
	<i>Coleta</i>	Repetir a medição da mesma quantidade é necessário em consequência da dispersão inerente dos dados.	Cada medição é apenas uma aproximação do valor verdadeiro, e os desvios do valor verdadeiro são aleatórios. Várias medições são necessárias para formar uma distribuição que irá se agrupar em torno de algum valor em particular.
	<i>Processamento via cálculo</i>	Um conjunto de medições é representado por um constructo teórico, como a média e o desvio padrão.	A melhor informação a respeito do valor verdadeiro é dada pela combinação das medições usando constructos teóricos para caracterizar o conjunto como um todo.
	<i>Processamento via gráfico linear</i>	Todas as medições são levadas em consideração para o ajuste linear dos dados por meio do método dos mínimos quadrados.	A melhor representação gráfica de um conjunto de medidas é obtida pela modelagem da tendência dos dados.
	<i>Comparação qualidade dos dados</i>	Para o mesmo conjunto de medidas (sic) ¹ , é considerado o melhor resultado aquele associado ao menor desvio padrão.	O desvio padrão está relacionado à precisão da medição.
	<i>Comparação conjunto de dados</i>	O acordo de duas medições está relacionado com o nível de sobreposição de seus intervalos.	A média e o desvio padrão definem um intervalo de confiança, o qual está relacionado tanto com melhor estimativa quanto à confiabilidade da medição.

A diferença entre o pensamento de um aluno que está no PP para um que está no PC pode ser observado no Quadro 2.4 que destaca a diferença entre o processamento via cálculo para alunos no PP e no PC.

Quadro 2.4 - Processamento via cálculo do Paradigma Pontual e Processamento via cálculo do Paradigma de Conjunto. Fonte: Adaptado de Camargo Filho, Laburú e Barros (2015, p.822-823).

	<i>Processamento via cálculo</i>	
	<i>Ação</i>	<i>Raciocínio</i>
<i>Paradigma Pontual</i>	Uma única (melhor) medição, por exemplo, o valor recorrente, é selecionado para representar o valor verdadeiro.	Cada medição é independente de todas as outras e pode, a princípio, ser o valor verdadeiro.
<i>Paradigma de Conjunto</i>	Um conjunto de medições é representado por um constructo teórico, como a média e o desvio padrão.	A melhor informação a respeito do valor verdadeiro é dada pela combinação das medições usando constructos teóricos para caracterizar o conjunto como um todo.

Como pode ser visto, o PP é marcado fortemente pelo raciocínio de que cada medição pode ser o valor verdadeiro. A ação do aluno por sua vez, se baseia em realizar uma única e

¹ O correto deveria ser “para dois conjuntos de dados, é considerado o melhor resultado aquele associado ao menor desvio padrão”.

melhor medição. Caso o aluno faça mais medições, valor recorrente pode erroneamente ser interpretado como sendo o valor verdadeiro da medição. Já no PC, é característico aos alunos entenderem que um melhor valor é dado pela combinação das medições por meio de fundamentos teóricos. Os alunos conseguem representar o valor por meio fundamentos matemáticos, tais como média e uma estimativa de incerteza associada a esta medição.

Mediante a todos esses pontos levantados, um dos objetivos deste trabalho se encontra na citação de Buffler, Allie e Lubben (2001, p. 1153): “o objetivo geral de uma instrução laboratorial deve estar dirigido para efetuar uma mudança no paradigma utilizado pelo estudante”. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo transpor os alunos de um pensamento que se enquadra no PP e levá-los a um pensamento científico mais correto, aproximando-os do PC.

2.2 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA E CIÊNCIAS

A física é uma ciência experimental e autores como Hofstein e Lunetta (2004) afirmam que o trabalho experimental tem um papel central no ensino de ciências. Os autores Seré, Coelho e Nunes (2003) afirmam que as atividades no âmbito experimental são enriquecedoras para os alunos. Essas atividades produzem diversos ganhos, tais como correção do verdadeiro sentido sobre o mundo abstrato, controle de ambientes, utilização de instrumentos de medida, técnicas de investigação, olhar crítico sobre resultados, decisões, discussões, além de questionamentos sobre o mundo. Com isso, os autores afirmam que por meio de atividades experimentais o aluno consegue “facilmente ser ator na construção da ciência, já que a experiência demonstrativa seria mais propícia para um enfoque dos resultados de uma ciência acabada”.

Porém, um estudo revelou que professores não se sentem capacitados para o dever de ensinar ciências utilizando experimentos (THOMAZ, 2000). Nesse artigo os autores realizaram uma pesquisa com 725 professores de Portugal, cujo objetivo era responder algumas perguntas sobre o trabalho experimental no ensino de ciências. Entre as perguntas, existiam duas que expressam de forma significativa a falta de capacidade na formação dos professores em relação às práticas experimentais. A primeira era se os professores consideravam relevante alguns objetivos no ensino de ciências e a segunda era sobre o posicionamento dos professores com relação à "consecução" (conseguir/obter) desses objetivos.

O artigo afirma que cerca de 75% dos professores do ensino básico consideram “muito importante” alguns objetivos, entre eles: "Desenvolver capacidades de pesquisa" e "Desenvolver atitudes científicas". Esse resultado mostra a importância de desenvolver atividades ou capacidades relacionadas ao ensino da física pois, de fato, os professores entendem essa importância. Por outro lado, quando os mesmos professores são questionados com relação ao seu grau de consecução, os resultados mostraram conclusões alarmantes. Cerca de 8% dos professores da pesquisa consideram “muito elevado” seu grau de consecução. Isso nos mostra que os professores entendem a necessidade desses objetivos e a devida importância que merecem, porém ao mesmo tempo são incapazes, em sua maioria, de obter o sucesso na realização do mesmo.

Pode-se perceber que existe um “abismo” entre a importância que existe sobre o assunto e o grau de obtenção desses objetivos por meio do ensino formal. No entanto, o experimento desempenha um papel central não só para a ciência natural, mas para a educação científica (MILLAR, 1987).

2.3 NOÇÕES DE FÍSICA EXPERIMENTAL E METROLOGIA

Como visto anteriormente, é importante a realização de atividades experimentais com os alunos. Em vista disso, decidimos trabalhar com o assunto da densidade por meio de física experimental, incluindo noções de metrologia. Esta escolha decorre de alguns fatores:

- I. Alguns trabalhos envolvem a obtenção da densidade através do Princípio de Arquimedes (SILVA; FONSECA, 2021), (CID; PIZZI.; LACERDA; OLIVEIRA, 2021), (OLIVEIRA; MELO FILHO; AFONSO, 2013) e (MONTANHEIRO, 1990). Existem outras formas de obtenção da densidade, como por meio da relação da altura de líquidos, que serão comentados ainda neste capítulo. Porém, este trabalho se baseará apenas na obtenção da densidade de líquidos através da massa e do volume (mais simples e barato).
- II. Excelente oportunidade para trabalhar um tópico da física juntamente com aplicações de física experimental por meio de noções de metrologia. Este tópico será importante para proporcionar aos alunos um raciocínio mais científico.

Não há apenas esses fatores listados. Na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) existem habilidades que evidenciam a importância de trabalhar física experimental, noções de

metrologia e densidade com os estudantes. Seguem algumas habilidades registradas na BNCC:

(EF05CI01) Explorar fenômenos da vida cotidiana que evidenciem propriedades físicas dos materiais – como densidade, condutibilidade térmica e elétrica, respostas a forças magnéticas, solubilidade, respostas a forças mecânicas (dureza, elasticidade etc.), entre outras. (BRASIL, 2018, p. 341).

(EM13MAT316) Resolver e elaborar problemas, em diferentes contextos, que envolvem cálculo e interpretação das medidas de tendência central (média, moda, mediana) e das medidas de dispersão (amplitude, variância e desvio padrão). (BRASIL, 2018, p. 537).

(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências. (BRASIL, 2018, p. 557).

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica. (BRASIL, 2018, p. 559).

Devido a essas habilidades, escolheu-se trabalhar com os assuntos relacionados à medição e densidade. A densidade se encontra na habilidade **EF05CI01**. Outros assuntos também serão explorados, tais como cálculos envolvendo média e medidas de dispersão, visto na habilidade **EM13MAT316**. Além disso, atividades experimentais também fazem parte deste presente trabalho. Envolvendo assim, interpretar resultados, realizar previsões sobre atividades experimentais e elaborar hipóteses, como previsto nas habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**.

Mediante aos dados apresentados, alguns questionamentos vêm à tona sobre o ensino de densidade para os alunos. Os alunos sabem calcular a densidade? Conseguem utilizar instrumentos de medida para realizar medições de massa e volume? Sabem calcular a média sobre os dados coletados? Entendem o que é incerteza associada a uma medição? Conseguem estimar essa incerteza? Possuem conhecimentos sobre a utilização de Algarismos significativos? Sabem elaborar hipóteses para explicar um fenômeno físico? Conseguem testar hipóteses e descartá-las em função dos resultados obtidos? São capazes de analisar padrões gráficos e interpretá-los?

2.4 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta sessão serão mostrados dois trabalhos sobre a aplicação e o estudo da densidade, além de formas de medição da mesma. No primeiro trabalho, os autores Jesus e Palma (2008) mostram formas de obtenção da densidade do óleo e também como realizar a experiência com materiais com baixo custo. No segundo trabalho, os autores Silva e Fonseca (2021) mostram alguns métodos para obtenção da densidade de líquidos e sólidos por meio de um aparato experimental que possui um suporte universal, uma balança, um béquer e outros materiais utilizados na realização do experimento.

No artigo de Jesus e Palma (2008) é utilizada a equação

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

onde ρ é a densidade, m é a massa e v é o volume. A equação a seguir representa a incerteza da densidade utilizada no artigo citado

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \left(\frac{\delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\delta v}{v}\right)^2 \quad (2.2)$$

onde $\delta\rho$ é a incerteza da densidade, δm é a incerteza da massa e δv é a incerteza do volume.

As equações 2.1 e 2.2 foram utilizadas, respectivamente, para determinar a densidade e a incerteza do óleo. As medições foram feitas pelo método direto, ou seja, utilizando uma proveta graduada e uma balança digital, para registrar o volume e a massa respectivamente. Foi utilizada uma proveta graduada de 500 ml e menor divisão de 5ml e a balança digital para medição da massa tem como último algarismo o centésimo de grama. Os valores obtidos para a massa, m , e volume, V , são respectivamente, $(437,72 \pm 0,01)$ g e (480 ± 3) ml. O resultado obtido para o valor da densidade do óleo foi de $0,9117 \pm 0,0057$ g/cm³.

Ao longo do artigo os métodos para obtenção da densidade mudam. Os autores realizam modificações, sempre mantendo o objetivo de obter a densidade do óleo, porém com leves mudanças no aparato experimental. As modificações experimentais se encontram na aquisição e no manuseio dos materiais. Por isso, na sequência é utilizado um tubo de vidro em U de altura 10 cm.

Para encontrar a densidade nesta situação é preciso utilizar o Princípio de Pascal

$$\rho_0 = \frac{h_w}{h_o} \cdot \rho_\omega \quad (2.3)$$

onde ρ_0 é a densidade do óleo, ρ_w é a densidade da água, h_w é a altura da coluna de água e h_0 altura da coluna de óleo. Para o cálculo da incerteza relativa da densidade foi utilizado equação

$$\left(\frac{\delta\rho_0}{\rho_0}\right)^2 = \left(\frac{\delta h_w}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{\delta h_0}{h_0}\right)^2 + \left(\frac{\delta\rho_w}{\rho_w}\right)^2 \quad (2.4)$$

Essas equações foram utilizadas para determinar a densidade e a incerteza do óleo. Os resultados foram, respectivamente $0,951 \pm 0,017 \text{ g/cm}^3$ para a densidade do óleo. Observa-se que a medição obtida não tem um valor muito exato devido à dificuldade de se medir as alturas a partir da superfície que separa a água do óleo. Por causa dessa dificuldade o autor discute uma possibilidade que diminuiria o custo e a incerteza do experimento.

Foi utilizado então um aparato experimental para a medição da densidade utilizando uma mangueira transparente flexível de 3 metros como tubo em U. O objetivo do processo é encontrar uma forma que resultará em uma melhor acurácia e precisão, ou seja, uma menor incerteza associada à medição.

Essa modificação no comprimento do tubo facilitou o nivelamento nas alturas da coluna de água e do óleo, para assim, determinar a densidade e a incerteza do óleo. O valor obtido para a densidade do óleo ($0,9185 \pm 0,0022 \text{ g/cm}^3$) é acurado em relação ao valor de referência (NOUREDDINI.; TEOH; CLEMENTS, 1992).

Outra forma de se obter a densidade é através do Princípio de Arquimedes:

“Um corpo total ou parcialmente imerso num fluido recebe do fluido um empuxo igual e contrário à força peso da porção de fluido deslocada, aplicado no centro de gravidade dessa porção”. (NUSENZVEIG. 2014, p.22).

O princípio de Arquimedes é utilizado no artigo de Silva e Fonseca (2021) onde é possível se obter a densidade através da equação

$$E = \rho \cdot g \cdot v \quad (2.5)$$

onde E é o módulo da força denominada de Empuxo, ela é gerada sobre um corpo quando ele desloca um volume V , ρ é a densidade do líquido deslocado e g é o módulo da aceleração da gravidade local.

O artigo mostra um método em que é possível calcular a densidade para dois casos. O primeiro caso para sólidos e líquidos com uma densidade maior que a água. O segundo caso para sólidos e líquidos com uma densidade menor que a da água.

Para o primeiro caso, precisa-se de um fluido de referência, cuja densidade seja conhecida. Depois, o objeto é colocado em um suporte universal. Quando um objeto, feito de material mais denso que a água, é colocado em um recipiente contendo água, ele afundará devido ao fato do peso do objeto (vertical para baixo) possuir módulo maior que o módulo da força de empuxo (vertical para cima).

Após a balança estabilizar, mede-se a massa do material dentro do fluido e depois mede-se a massa do material também fora do fluido de referência. Assim encontra-se a densidade do corpo analisado por meio da equação

$$\rho = \frac{m}{(m-m')} \cdot \rho_{H_2O} \quad (2.6)$$

onde ρ é a densidade cujo objetivo é descobrir, m é a massa do corpo pela balança, m' é a massa do corpo medido completamente submerso no fluido de referência e ρ_{H_2O} é a densidade da água, escolhido como o líquido de referência do problema.

O segundo caso tem o objetivo de encontrar líquidos menos densos que a água. É semelhante ao primeiro caso, muda-se apenas o fluido de referência pelo líquido que quer se determinar a densidade. Enche-se um saquinho plástico com o líquido de referência (no artigo foi utilizada água destilada). O saquinho cumprirá a função do sólido imerso no fluido, como anteriormente.

Sendo assim a densidade do líquido pode ser calculada pela equação (2.6). Nessa situação, ρ é a densidade cujo objetivo é descobrir, m é a massa do saco plástico com água medida no ar pela balança e m' é massa do saco plástico com água medida totalmente submerso no líquido que se deseja determinar a densidade.

Aplicando esse método juntamente com a equação (2.6), pode-se determinar a densidade do óleo e estimar sua incerteza. O resultado obtido foi $0,9087 \pm 0,0002 \text{ g/cm}^3$ para a densidade do óleo. O artigo se propõe ainda a determinar a densidade de sólidos menos densos que a água.

O que foi visto até aqui são estudos que explicam a definição da densidade e formas diversas para se encontrar a densidade de líquidos ou sólidos. Alguns por meio de alternativas mais simples e baratas, outras mais sofisticadas e caras.

Foram observadas algumas maneiras de obtenção da densidade de líquidos, como visto no artigo do Jesus e Palma (2008), através de medições diretas, tubos em U de vidro, régua

ou até mesmo um tubo flexível (mangueira) de 3 metros de comprimento. De modo geral, os instrumentos de medição possuem uma certa dificuldade no transporte para a sala de aula. Tanto por questões logísticas, como por exemplo, carregar um experimento dentro de um ônibus ou em algum veículo particular, como por causa de mudanças na calibração dos instrumentos, ou seja, quando se movimenta um experimento (que foi montado ou construído para ser fixo) podem ocorrer mudanças na forma que esse experimento foi calibrado ou até mesmo posicionado.

O outro artigo (SILVA; FONSECA, 2021) obtém a densidade de líquidos e sólidos em alguns casos por meio de um fluido de referência conhecido, além de obter a massa do objeto que quer saber a densidade antes e depois de mergulhado no fluido de referência. De modo geral é uma sequência com uma montagem mais complexa e informações que ultrapassam apenas o conhecimento sobre densidade, tendo a necessidade de ser explicado, por exemplo Princípio de Arquimedes, através do equilíbrio de forças.

2.5 OBJETIVOS

Com base nessas informações, o presente trabalho tem como o objetivo ajudar os alunos, por meio de um roteiro de atividades, a entenderem melhor alguns conceitos sobre medições utilizadas na física e matemática. Isso será realizado por meio de noções de metrologia, abordando assuntos como: obtenção de medidas, unidade de medida, algarismo significativo, média, estimativa de incerteza, precisão, exatidão/acurácia e análise de dados. Além disso, será utilizada a densidade como plano de fundo condutor dessa discussão, explorando conteúdos como medida direta e medida indireta, análise e interpretação de dados, análise e interpretação de gráficos e construção de tabelas.

No roteiro de atividades, os alunos serão questionados em diferentes momentos sobre pensamentos errôneos que possuem, a fim de serem ensinados sobre o que é considerado correto pela ciência. O experimento que será realizado é de baixo custo e de fácil utilização, podendo assim estar inserido em um ambiente escolar, permitindo um fácil acesso ao material.

Lubben e Millar (1996, p. 956) informam que muitos estudantes realizam observações ou fazem medições sem estarem aparentemente conscientes de que existem incertezas associadas ao processo de medida ou que precisam ser capazes de defender os seus dados como confiáveis, apesar das incertezas

O produto educacional associado a esta dissertação (apêndices A e B) possui o objetivo de realizar mudanças na mentalidade dos estudantes a respeito das suas ideias relativas à medição. Dessa forma a sequência de atividades proposta foi estruturada de modo que em cada etapa os alunos possam ter oportunidades para progressivamente construir o Paradigma de Conjunto ao fazer medidas, analisá-las e interpretá-las.

3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo tem como objetivo apresentar os estudos feitos durante o desenvolvimento do método para a obtenção da densidade. Em um primeiro momento o interesse estava em verificar se a obtenção da densidade pelo método utilizado era preciso. Se necessário, seriam realizados ajustes a fim de melhorar os resultados encontrados para a obtenção da densidade de líquidos. Além disso, o objetivo da dissertação é desenvolver atividades didáticas que conectem medidas de densidade de líquidos com os raciocínios dos alunos relacionados aos paradigmas de medição.

3.1 VERIFICANDO A DENSIDADE DE LÍQUIDOS

Duas grandezas físicas são associadas ao estudo da densidade: massa e volume. Neste trabalho, utilizaremos medidas diretas e indiretas para obtenção da densidade. Tem-se que “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). Já a medida indireta “ocorre quando as medições são efetuadas envolvendo uma ou mais grandezas relacionadas por meio de uma equação matemática” (Ibid., p. 91).

A fim de entender melhor sobre as medidas tomadas para obter a densidade, esta seção será dividida em três partes:

- Entendendo o equipamento e conferindo sua precisão;
- Investigando métodos de obtenção da densidade da água;
- Calculando a densidade de outros líquidos.

3.1.1 Entendendo o equipamento e conferindo sua precisão

O equipamento utilizado é uma balança digital de baixo custo, encontrada em lojas de conveniência ou lojas que vendem utensílios para cozinha. A balança será utilizada para medir a massa de alguns recipientes e líquidos que serão colocados sobre ela.

Antes de confiar nos valores obtidos em qualquer equipamento de medida, é necessário analisar a precisão dos equipamentos que serão utilizados. A precisão e a exatidão/acurácia de

um equipamento são fundamentais para que se obtenha informações confiáveis. Os autores Vaz, David e Videira (2016, p.33) afirmam que:

A precisão pode ser definida como “o grau de concordância entre valores medidos, obtidos por medições repetidas, de um mesmo objeto (...) A exatidão de medição é o grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de uma grandeza.

Por isso, é necessário estimar a incerteza que a balança utilizada possui. Para isso, serão realizadas diversas medidas de massa para calcular a incerteza relativa do equipamento, ou seja, estimar uma precisão para as medidas realizadas por esse equipamento.

Para estimar a incerteza do equipamento utilizado, foi necessário realizar diversas medidas a fim de se identificar a precisão da balança. As medidas foram realizadas a partir de algumas situações numeradas de I a VI. Foram utilizados diversos recipientes com marcações (recipientes graduados), variando os recipientes (um de cada vez) com líquido em algumas posições sobre a balança. As situações mostram medidas de volume diferentes, logo massas diferentes também.

As medidas foram realizadas enchendo os recipientes graduados com água. Foi utilizado um copo medidor, nas situações I e II; e um copo de liquidificador, nas situações III, IV, V e VI, ambos sendo preenchidos com água conforme as marcações existentes em cada recipiente. Para cada valor de volume, foram feitas medições de massa modificando a posição do recipiente sobre a balança conforme representado na Figura 3.1.

Dependendo da balança utilizada existe o botão “tare” ou “tara”. Ambas as palavras significam a mesma coisa e tem por função zerar a massa do objeto colocado sobre a balança. A Figura 3.1 mostra a balança utilizada neste trabalho e o botão tara, respectivamente.

Foram registrados os valores de diferentes massas em variadas posições sobre a balança. A posição de um recipiente no prato da balança pode influenciar o valor obtido na medição da massa, por isso foram escolhidos pontos extremos sob o do prato da balança para serem obtidas as maiores variações do valor da massa. Cada situação terá um conjunto de valores de massa medidos que serão utilizados para determinar o valor da massa do recipiente com água e sua incerteza. A seguir se encontram os dados, cálculos e resultados da massa para cada caso.

Na situação I foi utilizado um copo medidor. Não foi colocado líquido nenhum no copo medidor e os valores de massa foram registrados na Tabela 3.1, onde são apresentadas medidas de massa do recipiente vazio.

Tabela 3.1 - Valores de massa para o copo medidor variando a posição do recipiente na balança.

Massa(g)	Posição na Balança
25	centro
25	norte
25	sul
26	leste
25	Oeste



Figura 3.1 - Balança utilizada mostrando o botão tara e posições onde o recipiente foi colocado sobre a balança. As palavras Norte, Sul, Leste, Oeste e Centro presentes na imagem não são originalmente da balança.

Para o cálculo do valor médio das n medidas de massa, será utilizada a equação

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n m_i \quad (3.1)$$

onde m_i representa a massa medida em gramas (g), n o número de medidas feitas (neste caso, $n = 5$), \bar{m} representa o valor médio das n medidas de massa. Por meio da equação 3.1 foi realizado o cálculo do valor médio para os valores da medida de massa representado na Tabela 3.1, obtendo:

$$\bar{m} = \left(\frac{25 + 25 + 25 + 26 + 25}{5} \right),$$

$$\bar{m} = 25,2 \text{ g}$$

Para o cálculo do valor do desvio padrão das n medidas de massa será utilizada a equação

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{(n)} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{m} - m_i)^2} \quad (3.2)$$

onde σ_m representa o desvio padrão das n medidas de massa. Por meio da equação 3.2 foi realizado o cálculo do desvio padrão com os dados da Tabela 3.1 e o resultado do cálculo do valor médio.

$$\begin{aligned} \sigma_m &= \sqrt{\frac{1}{5} \cdot [4 \cdot (25,2 - 25)^2 + (25,2 - 26)^2]} \\ \sigma_m &= \sqrt{\frac{1}{5} \cdot 0,8} = \sqrt{0,16} \\ \sigma_m &= 0,4 \text{ g} \end{aligned}$$

Após essa sequência de medidas, podemos obter um valor para a massa do recipiente (sem líquido dentro) e uma estimativa para a incerteza dessa medida. A expressão para o valor da massa do recipiente e sua incerteza pode ser representado pela expressão

$$m = \bar{m} \pm \sigma_m \quad (3.3)$$

$$m_l = 25,2 \pm 0,4 \text{ g}$$

Os resultados foram representados respeitando os algarismos significativos. Mendes e Rosário (2020) em seu livro “Metrologia e incerteza de medição: conceitos e aplicações”, afirmam que os números utilizados a partir dos cálculos realizados possuem um valor limitado de algarismos significativos, pois existem conceitos envolvidos, tais como: incerteza, exatidão, resolução e conversão de unidades. Por exemplo, suponhamos que o valor da medida mais provável de uma grandeza seja 17,502 m e que a incerteza associada a essa medição seja de 0,03 m. Como é uma variação para mais ou para menos o valor deveria ficar da seguinte maneira:

$$17,502 \pm 0,03 \text{ m.}$$

Porém, no exemplo dado, percebe-se que existe uma dúvida na segunda casa decimal do valor mais provável. Logo, não há necessidade de escrever a terceira casa decimal, uma vez que a anterior já é duvidosa. Portanto, o resultado ficará da seguinte maneira:

$$17,50 \pm 0,03 \text{ m.}$$

Mendes e Rosário (2020) falam que “os algarismos significativos de uma medida são os algarismos considerados corretos, a contar do primeiro diferente de zero, acrescido do último, que é considerado algarismo significativo duvidoso”.

Na situação II foi utilizado um copo medidor. Foi colocado o mesmo copo medidor, porém com um volume de 100 ml de água e os valores de massa foram registrados na Tabela 3.2, mostrando medições com volume de 100ml.

Tabela 3.2 - Valores de massa para V = 100ml variando as posições do recipiente na balança.

Massa(g)	Posição na Balança
114	centro
114	norte
115	sul
112	leste
116	oeste

Repetindo os cálculos apresentados na situação I, o valor obtido para a massa nessa situação é:

$$m_{II} = 114 \pm 1 \text{ g}$$

Na situação III foi utilizado um copo de liquidificador. Foi colocado no recipiente um volume de 250 ml de água e os valores de massa foram registrados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Valores de massa para V = 250ml variando as posições do recipiente na balança.

Massa(g)	Posição na Balança
657	centro
657	norte
658	sul
649	leste
668	oeste

Repetindo os cálculos apresentados na situação I, o valor obtido para a massa nessa situação é

$$m_{III} = 658 \pm 6 \text{ g}$$

Na situação IV foi utilizado um copo de liquidificador. Foi colocado no recipiente um volume de 500 ml de água e os valores de massa foram registrados na Tabela 3.4 variando o recipiente nas posições da balança.

Tabela 3.4 - Valores de massa para V = 500ml variando as posições do recipiente na balança.

Massa(g)	Posição na Balança
896	centro
893	norte
897	sul
895	leste
909	oeste

Repetindo os cálculos apresentados na situação I, o valor obtido para a massa nessa situação é

$$m_{IV} = 898 \pm 6 \text{ g}$$

Na situação V foi utilizado um copo de liquidificador. Foi colocado no recipiente do liquidificador um volume de 1000 ml e os valores de massa foram registrados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Valores de massa para V = 1000ml variando as posições do recipiente na balança.

Massa(g)	Posição na Balança
1395	centro
1390	norte
1394	sul
1376	leste
1416	Oeste

Repetindo os cálculos apresentados na situação I, o valor obtido para a massa nessa situação é

$$m_V = (139 \pm 1) \cdot 10^1 \text{ g}$$

Na situação VI foi utilizado um copo de liquidificador. Foi colocado no recipiente um volume de 1500 ml e os valores de massa foram registrados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Valores de massa para V = 1500ml variando as posições do recipiente na balança.

Massa(g)	Posição na Balança
1878	centro
1874	norte
1879	sul
1852	leste
1907	Oeste

Repetindo os cálculos apresentados na situação I, o valor obtido para a massa nessa situação é

$$m_{VI} = (188 \pm 2) \cdot 10^1 \text{ g}$$

Devido a todos os dados apresentados acima pode-se determinar a incerteza relativa do equipamento para uma faixa de valores, ou seja, estimar uma precisão para as medidas realizadas por esse equipamento. A incerteza relativa indica a precisão da medição efetuada pela balança naquele intervalo de massa medida. Quanto menor for a incerteza relativa, maior é o grau de precisão.

Para achar a incerteza relativa Δm_r é preciso fazer o quociente entre a incerteza absoluta (σ) e o valor mais provável da grandeza \bar{m} , da seguinte forma:

$$\Delta m_r = \frac{\sigma}{\bar{m}}$$

Na Tabela 3.7 encontram-se os valores calculados da incerteza relativa para cada um dos casos vistos anteriormente. A faixa das medidas de massa variou de 25g até 1907g e a incerteza encontrada foi entre 1,0% e 1,5%. Por causa disso, será superestimada a incerteza do equipamento associando o valor de 1,5% para todas as medidas realizadas dentro dessa faixa de valores (25g até 1900g).

Tabela 3.7 - Valores da incerteza relativa para todas as situações apresentadas.

SITUAÇÃO	INCERTEZA RELATIVA (\cong)
SITUAÇÃO I	1,5%
SITUAÇÃO II	0,9%
SITUAÇÃO III	0,9%
SITUAÇÃO VI	0,7%
SITUAÇÃO V	1,0%
SITUAÇÃO VI	1,0%

3.1.2 Investigando métodos de obtenção da densidade da água

Depois de estimar a incerteza do equipamento de medida, o próximo passo foi a obtenção de medidas de massa e volume para determinar a densidade da água. Os processos para gerar essas medidas foram divididos em duas etapas. Na etapa I foram gerados gráficos sem a utilização da função tara. Nos gráficos, esses resultados estarão inseridos dentro dos retângulos azuis. Na etapa II foram gerados gráficos com a utilização da função tara. Nos gráficos esses resultados estarão inseridos nos retângulos laranjas.

O botão com a função tara tem por finalidade zerar a leitura da massa do objeto colocado sobre a balança. A utilização da tara é um recurso interessante, mas não essencial. O acionamento ou não deste botão mudará apenas o coeficiente linear da reta. Nesse caso, a massa obtida pelo valor do coeficiente linear da reta é uma medida indireta porque ela foi obtida a partir de um modelo que relaciona a massa e o volume em uma proporção linear.

Na etapa I um recipiente sem nenhum líquido foi posicionado sobre a balança. Foram utilizados os seguintes recipientes: copo de um liquidificador, copo medidor e jarra de suco, um de cada vez. Depois foi registrado o valor da massa encontrada sem a função tara. Então o recipiente foi preenchido com determinado volume de água, mediante as marcações de cada recipiente. Depois desses passos fora gerado gráficos Massa (g) x Volume (ml).

Na etapa II os mesmos recipientes da etapa I foram posicionados sobre a balança, um de cada vez. Em seguida, para cada um dos recipientes, foi apertado o botão tara para zerar a massa registrada na balança. Depois o recipiente foi enchido com determinado volume de água, dependendo das marcações de cada recipiente. Após esses passos foram gerados os gráficos Massa (g) x Volume (ml) apresentados nas Figuras 3.2 a 3.5.

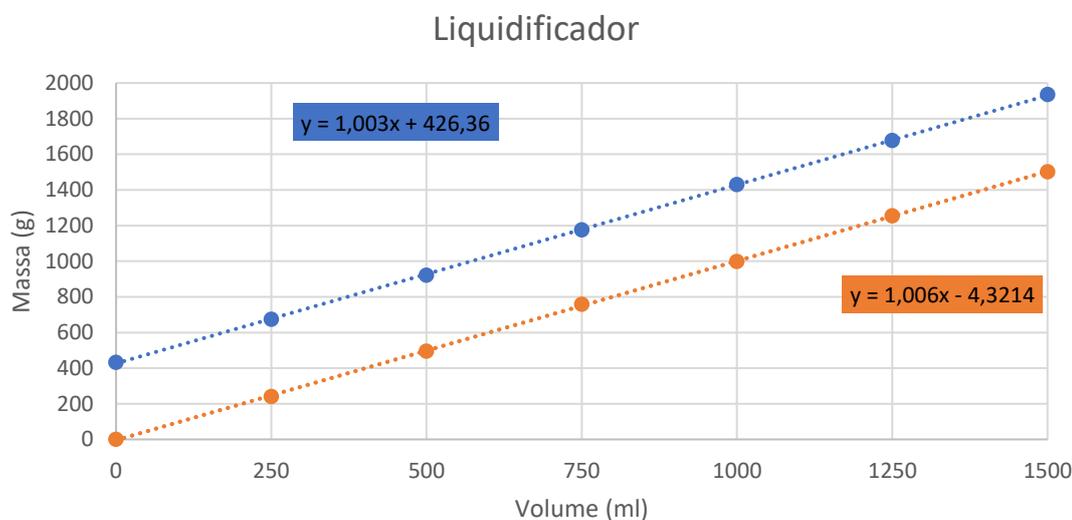


Figura 3.2 - Gráfico das medidas de massa e volume de água para um liquidificador. Os pontos em azul foram obtidos sem a utilização do botão tara. Os pontos em laranja foram obtidos com a utilização do botão tara.

A partir destas medidas, foi possível obter estimativas de valores da densidade da água. O valor da densidade da água destilada é tabelado como sendo $0,9970 \text{ g/cm}^3$ a uma temperatura de 25°C e uma pressão de 1 atm (LIDE, 2004, p. 4-37 e 4-94). Na conversão de unidades, pode-se igualmente representar a densidade como sendo g/cm^3 ou como sendo g/ml .

Os gráficos têm no eixo x medidas de volume e no eixo y medidas de massa. Os dados obtidos são mostrados em gráfico de dispersão e podemos traçar uma melhor reta para analisar os dados. Esse processo é chamado de regressão linear.

As expressões apresentadas são do tipo $f(x) = a \cdot x + b$. O termo “a” é chamado de coeficiente angular ou também chamado de taxa de variação. Ele representa a inclinação da reta em relação ao eixo X. Nas Figuras 3.2 a 3.5, o valor do coeficiente angular representa o valor da densidade medida.

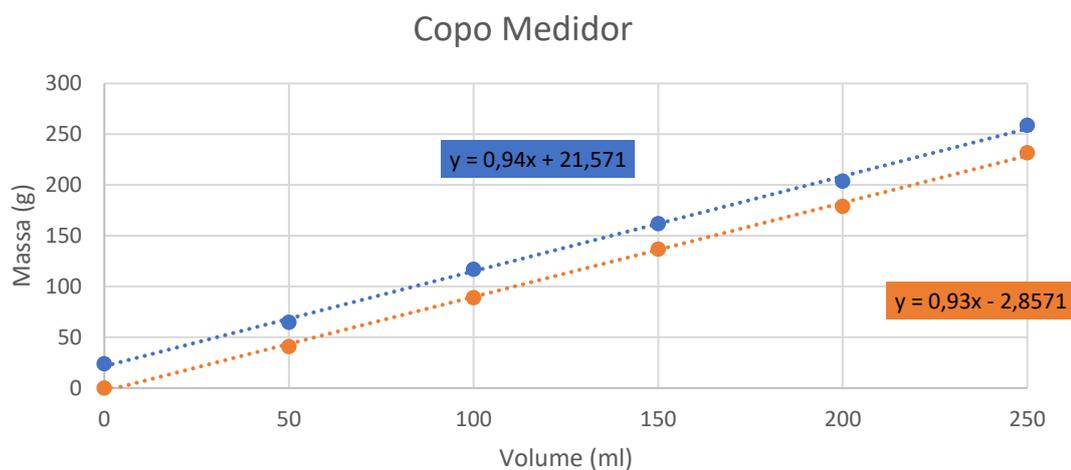


Figura 3.3 - Gráfico das medidas de massa e volume de água para um copo medidor. Os pontos em azul foram obtidos sem a utilização do botão tara. Os pontos em laranja foram obtidos com a utilização do botão tara.

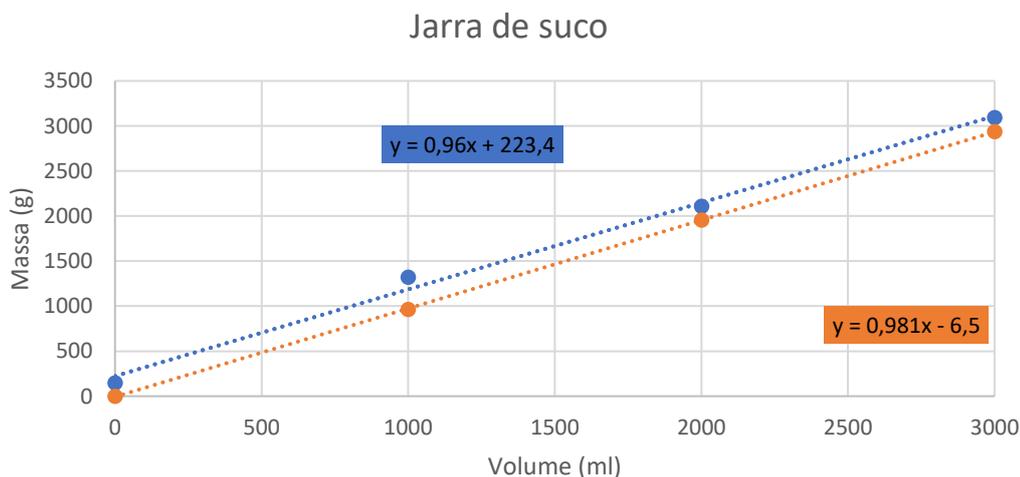


Figura 3.4 - Gráfico das medidas de massa e volume de água para um jarro de suco. Os pontos em azul foram obtidos sem a utilização do botão tara. Os pontos em laranja foram obtidos com a utilização do botão tara.

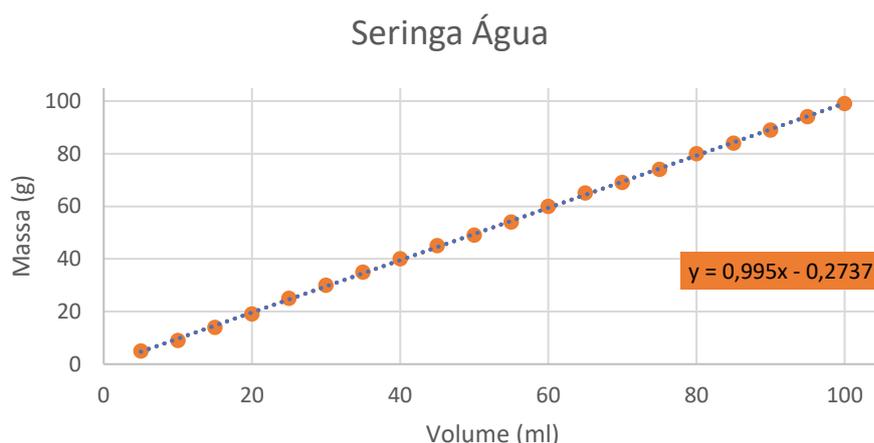


Figura 3.5 - Gráfico das medidas de massa e volume para uma seringa com água. Os pontos em laranja foram obtidos com a utilização do botão tara.

Como temos no eixo x o volume e no eixo y a massa, obtêm-se que a densidade pode ser definida como a razão entre a massa e o volume. Portanto, nos gráficos o termo “a”, coeficiente angular, representa a densidade do líquido. Nesta parte do trabalho em questão a densidade é a da água.

O termo “b” é o coeficiente linear da reta. Também pode ser chamado de intercepto e significa o valor no qual a linha do melhor ajuste, intercepta corta o eixo Y. Quando x for zero teremos $f(0) = b$. Quando $x = 0$, não há nenhum líquido dentro do recipiente e, portanto, esse é o valor da massa do recipiente vazio.

Os gráficos apresentados mostram diferentes medidas de densidades a partir de diferentes instrumentos de medida, tais como liquidificador, copo medidor, jarra de suco e seringa. A imagem de cada instrumento de medida utilizados para a obtenção do volume da água podem ser vistas na Figura 3.6.



Figura 3.6 - Recipientes utilizados para gerar medidas de massa aumentando o volume com água: da esquerda para a direita: copo de liquidificador, copo medidor, jarra de suco e seringa.

As expressões $y = 1,003x + 426,36$ (sem uso do botão tara) e $y = 1,006x - 4,3214$ (com uso do botão tara), registradas na Figura 3.2 por exemplo, mostram dois valores para cada expressão. Um é o coeficiente angular e o outro o coeficiente linear. Pegando como exemplo os valores registrados nestas expressões, temos: (i) $y = 1,003x$ e (ii) $y = 1,006x$. Para (i) tem-se que $a = 1,003 \pm 0,004$ g/ml e para (ii) tem-se $a = 1,006 \pm 0,004$ g/ml. Os valores da incerteza e do ajuste linear foram obtidos através do programa de computador Excel.

Na Tabela 3.8 mostra-se os valores de densidade e da incerteza da densidade para os casos apresentados.

Tabela 3.8 - Valores de densidade da água medidos com diferentes instrumentos de medida.

Instrumento de Medida	Sem Tara		Com Tara	
	Densidade (g/ml)	Incerteza da Densidade (g/ml)	Densidade (g/ml)	Incerteza da Densidade (g/ml)
Liquidificador	1,003	0,004	1,006	0,004
Copo Medidor	0,94	0,02	0,93	0,02
Jarro de Suco	0,96	0,05	0,981	0,004
Seringa água	-	-	0,995	0,004

Pode-se ver pelos resultados obtidos que a partir de diferentes instrumentos de medida de volume (liquidificador, copo medidor, jarra de suco e seringa), obtém-se diferentes resultados para o valor da densidade da água. Pode-se, nesse momento, trazer para a reflexão a pergunta: qual o melhor instrumento de medida e por quê?

O instrumento de medida mais adequado, neste caso, será aquele em que o valor é o mais aproximado do valor de referência da densidade da água, ou seja, que irá se mostrar mais acurado. Para isso, é necessário verificar a discrepância relativa dos dados medidos, ou seja, “quanto menor a discrepância relativa de uma medida, mais exata/acurada ela é” (IF, UFRJ. 2018). A discrepância relativa pode ser calculada pela equação

$$D_r = \frac{|v-v_r|}{v_r} \quad (3.4)$$

onde D_r é a discrepância relativa, v é o valor medido e v_r é o valor de referência. O resultado da densidade da água por meio de cada recipiente de medida, valor de referência da água e os valores para a discrepância relativa estão representados na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Valores referentes a estimativa da discrepância relativa para os diferentes instrumentos de medida utilizando o líquido água.

Instrumento de Medida	Líquido	Resultado Experimental		
		Densidade (g/ml)	Valor de Referência ¹ (g/ml)	Discrepância Relativa (g/ml)
Liquidificador	Água	1,006	0,9970	0,9 %
Copo Medidor	Água	0,93	0,9970	6,7 %
Jarro de Suco	Água	0,981	0,9970	1,6 %
Seringa	Água	0,995	0,9970	0,2 %

Em uma ordem de mais acurado para menos acurado, verifica-se a seringa, o liquidificador, a jarro de suco e o copo medidor. Devido a este resultado, a seringa é o instrumento de medida mais adequado para se obter uma boa precisão, o que é excelente para um equipamento portátil e de baixo custo. Portátil por seu tamanho reduzido e de baixo custo por ser barata e precisar de pouco volume de líquido para realizar a medida (caso o preço do líquido seja caro).

3.1.3 Calculando a densidade de outros líquidos

Uma vez determinado que a seringa é o instrumento mais adequado para se obter a densidade de líquidos, outras medidas foram tomadas com outros líquidos, tais como, óleo, azeite e vinagre, a partir da utilização da seringa. Na Figura 3.7 são mostrados os líquidos utilizados para a análise da obtenção da densidade.



Figura 3.7 - Óleo (esquerda), azeite (centro) e vinagre (direita) usados para a obtenção da densidade.

Os gráficos das medidas tomadas com outros líquidos podem ser vistos nas Figuras 3.8 a 3.10. Escolheu-se realizar todas as medidas utilizando o botão tara.

¹ LIDE (2004, p. 4-94)

Nos casos estudados, foram obtidas medidas para a densidade de alguns líquidos a partir da utilização da seringa. A Tabela 3.10 apresenta os valores de densidade e da incerteza de densidade para o óleo, o azeite e o vinagre.

Tabela 3.10 - Valores referentes a densidade da água medidos através da seringa, para diferentes líquidos.

Líquido	Resultado Experimental		Valor de Referência ²
	Densidade (g/ml)	Incerteza da Densidade (g/ml)	Densidade (g/ml)
Azeite	0,912	0,004	0,907 a 0,913
Óleo	0,922	0,003	0,914 a 0,918
Vinagre	1,007	0,002	1,0083 a 1,0106

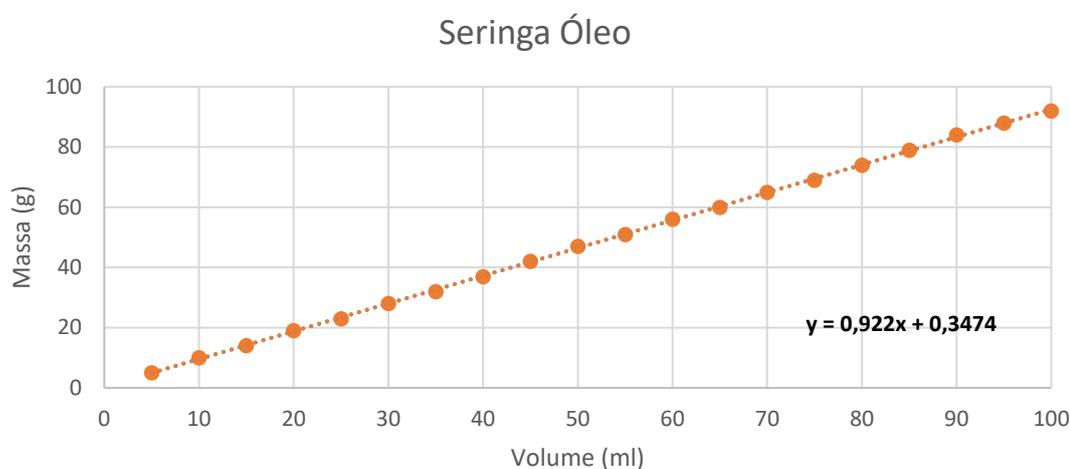


Figura 3.8 - Gráfico das medidas de massa e volume de óleo com a utilização de uma seringa.

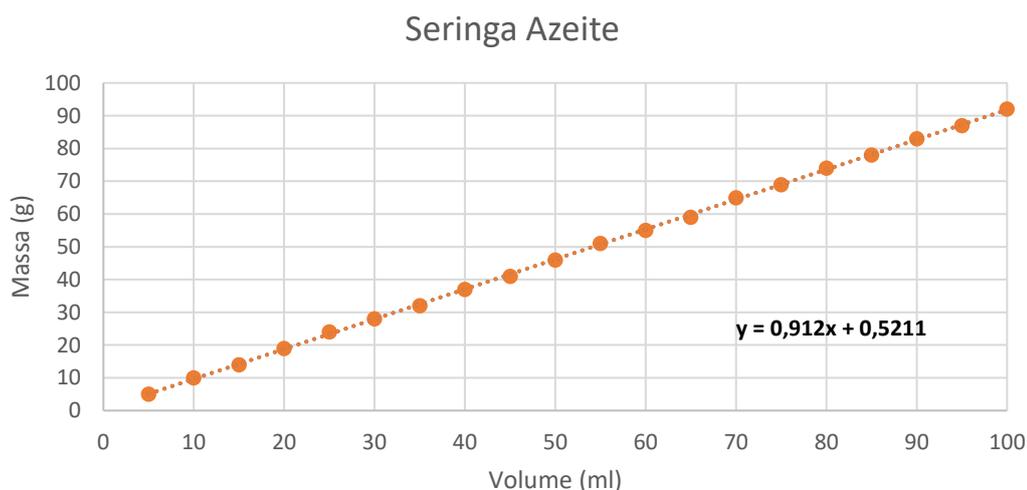


Figura 3.9 - Gráfico das medidas de massa e volume de azeite com a utilização de uma seringa.

² Antas (2014, p.21), Nouredini, Teoh e Clements (1992, p.1186) e Rizzon e Miele (1998, p. 27).

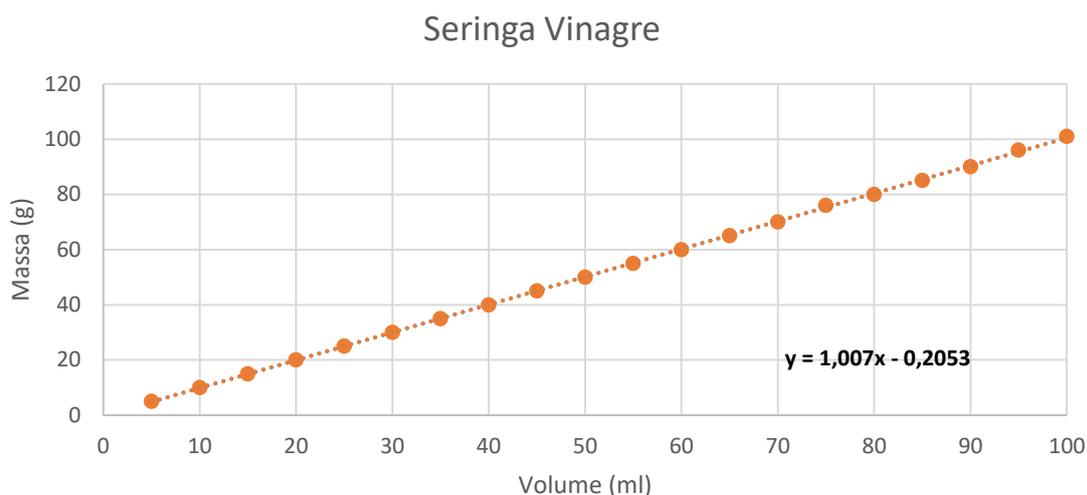


Figura 3.10 - Gráfico das medidas de massa e volume de vinagre com a utilização de uma seringa.

Para uma melhor análise, a precisão pode ser averiguada pela incerteza relativa. A incerteza relativa é utilizada para estimar a precisão do valor medido, e pode ser calculada pela equação

$$I_r = \frac{\Delta m}{m} \cdot 100 , \quad (3.5)$$

onde I_r é a incerteza relativa, Δm é valor de incerteza encontrado e m é o valor medido. Esse valor é multiplicado por cem para obter a incerteza relativa em valor percentual. Segue na Tabela 3.11 a relação das incertezas relativas relacionadas para a medição da água com os diferentes instrumentos de medida e de diferentes líquidos com a utilização da seringa.

Tabela 3.11 - Valores referentes a estimativa da incerteza relativa para os diferentes instrumentos de medida e líquidos utilizados.

Instrumento de Medida	Líquido	Resultado Experimental		
		Densidade (g/ml)	Incerteza da Densidade (g/ml)	Incerteza Relativa (g/ml)
Liquidificador	Água	1,006	0,004	0,4%
Copo Medidor	Água	0,93	0,02	2,1%
Jarro de Suco	Água	0,981	0,004	0,4%
Seringa	Água	0,995	0,004	0,4%
Seringa	Azeite	0,912	0,004	0,4%
Seringa	Óleo	0,922	0,003	0,3%
Seringa	Vinagre	1,007	0,002	0,2%

Será considerado, neste trabalho, uma medida de precisão baixa valores de incerteza relativa acima de 1%. Para valores de incerteza relativa abaixo de 1% as medidas serão consideradas com uma precisão boa. Ou seja, “quanto menor a incerteza relativa de uma

medição, mais precisa ela é” (IF, UFRJ, 2018). Portanto, verifica-se que todas as medidas foram precisas, exceto a medida realizada com o copo medidor, que foi considerado uma medida imprecisa.

Por outro lado, segue na Tabela 3.12 a relação da discrepância relativa relacionada com a medição da água para os diferentes instrumentos de medida e de diferentes líquidos com a utilização da seringa.

Será considerado, neste trabalho, uma medida de acurácia baixa valores de discrepância relativa acima de 1%. Para valores de discrepância relativa abaixo de 1% as medidas serão consideradas com uma acurácia boa. Logo, pode-se verificar que grande parte das medidas se mostram acuradas, exceto o copo medidor e a jarra de suco.

Tabela 3.12 - Valores referentes a estimativa da discrepância relativa para os diferentes instrumentos de medida e líquidos utilizados.

Instrumento de Medida	Líquido	Resultado Experimental		
		Densidade (g/ml)	Valor de Referência ³ (g/ml)	Discrepância Relativa ⁴ (g/ml)
Liquidificador	Água	1,006	0,9970	0,9 %
Copo Medidor	Água	0,93	0,9970	6,7 %
Jarra de Suco	Água	0,981	0,9970	1,6 %
Seringa	Água	0,995	0,9970	0,2 %
Seringa	Azeite	0,912	0,907 a 0,913	0,6 %
Seringa	Óleo	0,922	0,914 a 0,918	0,9 %
Seringa	Vinagre	1,007	1,0083 a 1,0106	0,4 %

Para uma melhor compreensão sobre os termos utilizados, é mostrado na Figura 3.11 um esquema que simboliza o significado dos termos de acurácia e precisão. Observa-se que a acurácia está relacionada com o quanto mais próximo está o resultado da medida do valor tido como verdadeiro, ou seja, o valor de referência. A precisão está relacionada com a repetibilidade das medidas. Pode-se pensar que a acurácia diz acerca da veracidade de uma medida, e a precisão relaciona-se com a repetição da medida.

Observando a Figura 3.11, é possível perceber que a precisão tem relação com o quão próximas ou afastadas as medidas estão uma das outras, enquanto a acurácia tem relação com

³ LIDE (2004, p. 4-94), Antas (2014, p.21), Noureddini, Teoh e Clements (1992, p.1186) e Rizzon e Miele (1998, p. 27).

⁴ Discrepância relativa máxima nos casos em que os valores de referência são apresentados como um intervalo de valores.

o quanto a média dos pontos estão dispersos em relação ao centro do círculo (que neste caso está sendo julgado como o ponto de referência).

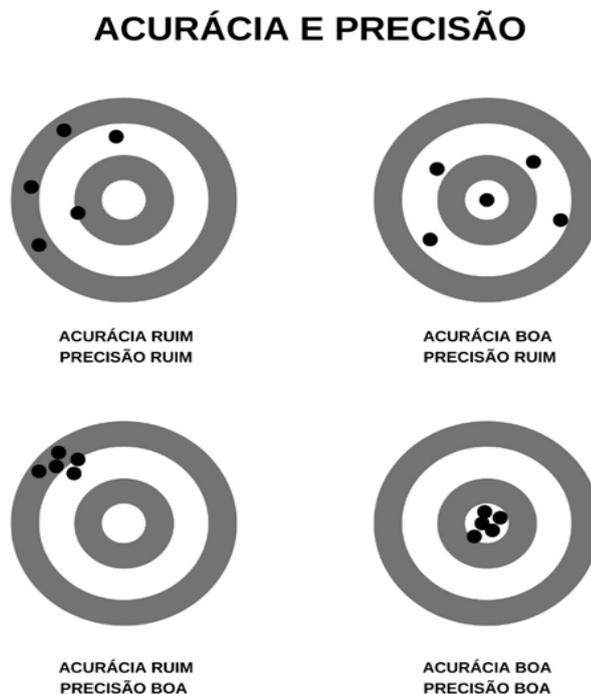


Figura 3.11 - Ilustração sobre a diferença entre acurácia e precisão. Modelo adaptado da fonte: <https://www.olympus-ims.com/pt/insight/accuracy-vs-precision-in-handheld-xrf-whats-the-difference/>

Também foram analisadas a acurácia e a precisão de todas as medidas feitas nessa etapa, podendo-se assim concluir qual medida foi acurada e/ou precisa, como pode ser visto na Tabela 3.13. Pode-se observar, portanto, que as medidas realizadas com a utilização da seringa resultam em medidas precisas e acuradas. Existe mais um ponto importante sobre a utilização da seringa, é utilizado pouco volume de qualquer líquido para obter resultados precisos e acurados, como vistos anteriormente.

Tabela 3.13 - Resultado sobre a acurácia e a precisão das medidas.

Instrumento de Medida	Líquido utilizado	Preciso	Acurado
Liquidificador	Água	Sim	Sim
Copo Medidor	Água	Não	Não
Jarro de Suco	Água	Sim	Não
Seringa	Água	Sim	Sim
Seringa	Azeite	Sim	Sim
Seringa	Óleo	Sim	Sim
Seringa	Vinagre	Sim	Sim

3.2 ETAPAS DO GUIA EXPERIMENTAL DO ALUNO

Com base nessas comprovações, a partir de agora apresenta-se a construção do Guia do Professor (ver apêndice A) e do Guia Experimental do Aluno (ver apêndice B). Os guias foram construídos baseando-se no artigo “Para além dos paradigmas da medição” (CAMARGO FILHO; LABURÚ; BARROS, 2015). Sua construção teve como foco criar um produto educacional que consiga realizar uma mudança na mentalidade dos alunos sobre medições, utilizando como pano de fundo o estudo da densidade. O Guia Experimental do aluno foi dividido em duas partes para uma melhor aplicação. Tanto para a primeira parte, quanto para a segunda parte serão necessários 2 tempos de aula de 50 minutos cada. As partes foram divididas em etapas. Cada etapa do guia tem o objetivo de inserir algum conhecimento novo ao aluno e fazer com que a cada passo o aluno obtenha um pensamento mais correto sobre medições.

A parte 1 do Guia Experimental tem como objetivo que os alunos compreendam a importância de realizar mais de uma medida para se obter o valor de uma medida. Além disso, espera-se que os alunos percebam que é possível obter uma estimativa para uma medida através da média dos dados coletados. Enfatiza-se também que toda medida experimental possui valor, incerteza e unidade de medida. Outros objetivos associados à parte 1 do guia são que o aluno aprenda sobre cálculo da densidade de um líquido, propagação da incerteza associada a massa e ao volume e verificação de hipóteses sobre um fenômeno.

Na parte 2 do Guia Experimental o aluno será lembrado de conceitos já adquiridos (média, densidade, incerteza). Além disso, será reforçado o uso de instrumentos de medida, será verificado padrões em medidas, tabelas, gráficos (por amplitude de uma medida, desvio padrão e erro padrão) e os alunos farão uma análise para poder descartar hipóteses.

No artigo de Camargo Filho, Laburú e Barros (2015) é mostrado um quadro sobre a visão dos alunos sobre os processos de medição, como resumido no quadro 2.1. No quadro existem níveis, que vão desde o A até o I. Os níveis são crescentes em conhecimento, de modo que o nível com menos conhecimento correto sobre medição é o nível A e o nível que possui um melhor conhecimento sobre os conceitos de medição é o nível I. A seguir será falado como será utilizado as discussões dos paradigmas de medição para elaborar um guia experimental de forma crescente em conhecimento, abordando assim os itens do quadro 2.1.

3.2.1 Etapa 1

A primeira etapa tem como ideia geral introduzir os alunos à leitura de instrumentos digitais e medidas diretas. O objetivo desta etapa é fazer com que os estudantes percebam que várias medições de um mesmo objeto podem resultar em valores distintos de leitura, ocorrendo flutuações de medição e tendo um primeiro contato com o conceito de incerteza experimental.

Para isso, é pedido aos alunos que realizem, utilizando uma balança, 5 medidas de massa de uma garrafa contendo líquido. Os valores devem ser registrados em uma tabela e após esse momento os alunos devem responder ao item 1.2 do guia, onde são realizadas as seguintes perguntas: “Após realizar as medições, discuta em grupo e anote as informações desejadas. As massas obtidas apresentaram valores diferentes umas das outras? Se sim, por que isso aconteceu?”. Esta etapa confronta o nível A que diz que “realizar uma única medição e este é o valor correto” (CAMARGO FILHO; LABURÚ; BARROS, 2015) sobre a visão do aluno referente a medição do artigo mencionado acima.

Logo no início do Guia Experimental, o aluno já irá compreender que é necessário realizar mais de uma medida para a obtenção do valor. Depois, dentro da mesma etapa, é explicado como o aluno vai realizar a estimativa de incerteza por meio da metade da amplitude dos dados experimentais. Também é explicado aos estudantes que toda medida precisa ter valor, estimativa da incerteza e unidade de medida.

3.2.2 Etapa 2

Na segunda etapa espera-se que os alunos entendam que os equipamentos de medida têm limitações sobre a faixa de valores que podem medir. O objetivo desta etapa é conduzir os alunos a perceberem que, mesmo um equipamento não podendo medir valores fora da faixa de medida especificada pelo fabricante, pode-se utilizar medidas indiretas para se obter medidas fora dessa faixa.

É dado para os alunos dos grupos um copo descartável que, pela balança utilizada, marcará uma massa de zero grama. Neste momento do Guia Experimental, assim como na etapa 1, é confrontado com os estudantes o nível B “a menos que você obtenha um valor diferente do esperado, a medição está correta” (CAMARGO FILHO; LABURÚ; BARROS, 2015) sobre a visão do aluno referente a medição.

Os alunos esperam que a balança registre algum valor de massa para o copo descartável e surpreendem-se depois de colocarem o copo sobre a balança e verem que ela registra o valor de zero grama, diferente do esperado. Após alguns poucos minutos, os próprios alunos pensam que logicamente o copo possui massa, apenas a balança que não registra o seu valor de massa.

Logo em seguida, na mesma etapa, é proposta a utilização de mais copos, modificando a situação inicial e possibilitando assim que os alunos possam descobrir a massa de apenas um copo. Neste momento, espera-se que os alunos aprendam que é possível obter indiretamente a medida da massa de um objeto ao utilizar um modelo idealizado (as massas de todos os copos são exatamente iguais).

No item mostrado na Figura 3.12 é pedido para os alunos realizarem algumas medidas com a utilização de 20 copos. Um ponto de discussão importante a ser feito, é sobre a quantidade de copos que podem ser utilizados nesta etapa. Os alunos podem se perguntar o porquê de 20 copos. Alguns questionamentos podem surgir, tais como, porque não menos copos ou porque não mais copos? Na Tabela 3.14, encontram-se os dados das massas registradas na leitura da balança (modelo SF-400) em relação ao número de copos colocados em sobre a balança.

2.3. - Peguem mais 19 copos, totalizando 20 copos descartáveis de 200 ml. Coloquem os copos uns sobre os outros, fazendo assim, uma pilha de copos. Cada aluno irá posicionar os copos sobre a balança e registrar um a um os valores de massa encontrada na tabela 4.

Tabela 4 – Medidas de massa com 20 copos.

Pilha de copos vazio	
Aluno	Massa (g)
1	
1	
2	
2	
3	
3	
4	
4	
5	
5	

Figura 3.12 - Parte de uma atividade da etapa 2 do Guia Experimental do Aluno.

A incerteza para essa faixa de valores foi estimada em 1g para todas as medidas. A massa de um copo foi calculada pela divisão entre o número da massa total e os n copos usados. Para obtenção da medida de incerteza de massa de apenas um copo, foi utilizado a estimativa da incerteza da massa total dividido pelos n copos utilizados.

Tabela 3.14 - Dados com o número de copos colocados sobre a balança e a massa registrada na leitura da balança.

n copos	Leitura da balança (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	1,45	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 partir dos dados obtidos na Tabela 3.14, foi feito um gráfico (Figura 3.13) que mostra a relação do número de copos plásticos com a massa obtida. Pode ser visto que a balança possui um número mínimo de massa (~5 g) em que começa a ser registrado algum valor.

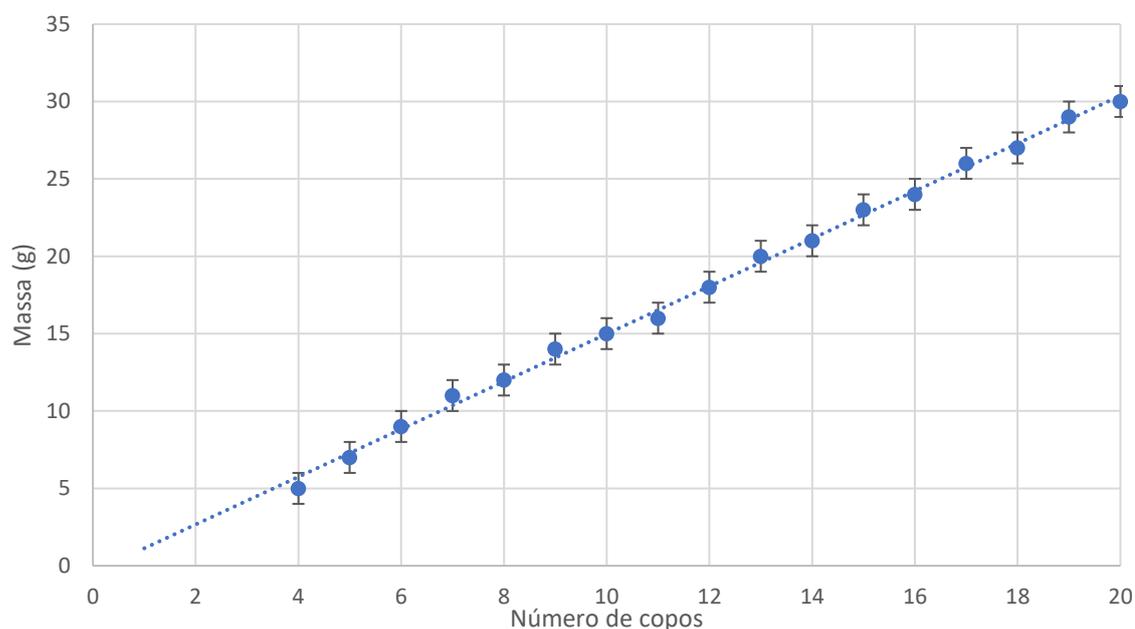


Figura 3.13 - Relação do número de copos plásticos com a massa obtida na leitura da balança modelo.

Um outro gráfico pode ser visto na Figura 3.14 e relaciona o número de copos com a massa de apenas 1 copo com sua respectiva incerteza. Este é um gráfico que mostra a relação entre a quantidade de medidas e a diminuição da incerteza da medida de massa de apenas um copo. Conforme aumenta-se o número de medidas a incerteza diminui.

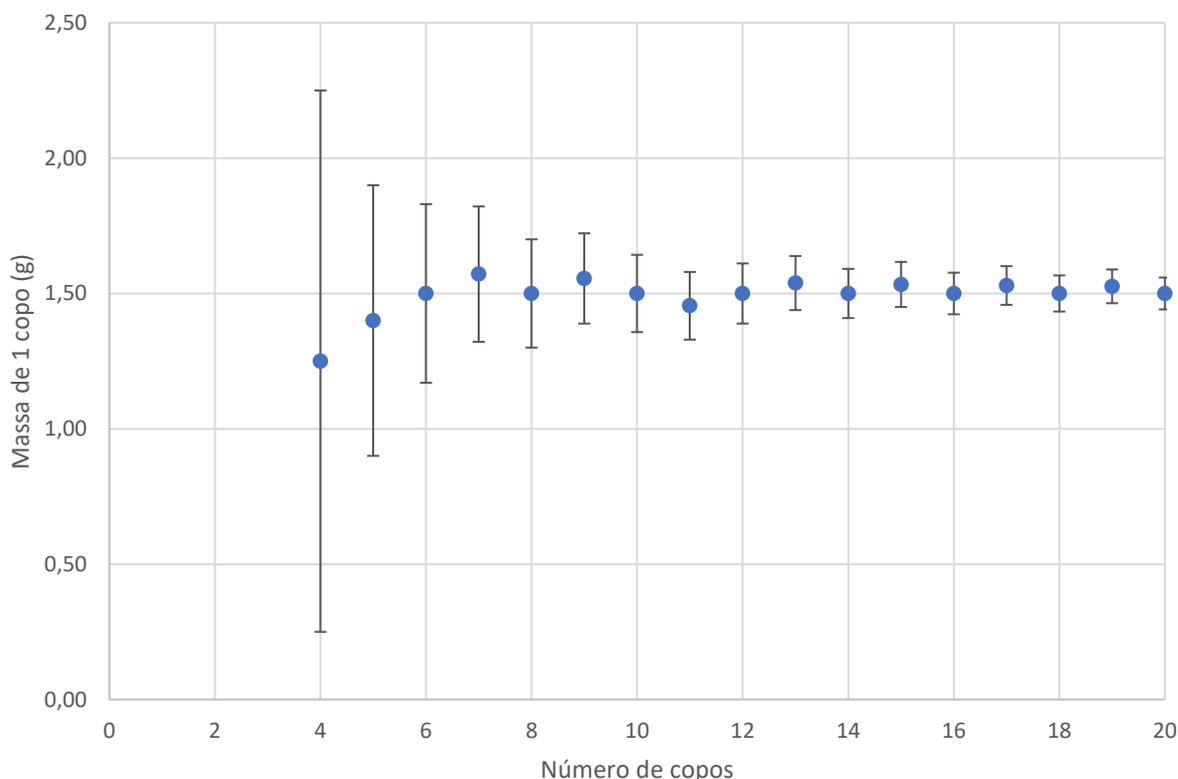


Figura 3.14 – Relação do número de copos plásticos com a massa de apenas um copo.

Alguns estudantes podem imaginar que estão realizando diversas medidas para poderem praticar os passos do processo experimental ou porque estão procurando um valor específico. Os alunos possuem visões erradas sobre medições. Devido a este fato, ao final dessa etapa os alunos serão confrontados nos níveis C “realizar algumas medições para praticar e, então, fazer a medição que deseja” (CAMARGO FILHO; LABURÚ; BARROS, 2015, p. 820) e D “repetir a medição até obter um valor recorrente. Este é a medição correta” (ibid., p. 820) sobre sua visão referente a medição.

3.2.3 Etapas 3 e 4

A terceira e quarta etapa têm como objetivo apresentar a definição da densidade e a partir disso, fazer com que os alunos realizem os cálculos sobre propagação da incerteza

associada à massa e ao volume, assim como encontrar a medida da densidade através de média das massas obtidas.

É pedido que os alunos obtenham as massas tanto de um copo contendo água e de um copo contendo 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. Posteriormente, é explicado sobre o cálculo da densidade e também o cálculo para a obtenção da incerteza associada a densidade, mostrando como obter os limites inferiores e superiores da amplitude de incerteza.

Na etapa 3 é apresentado aos alunos o processo da obtenção de incerteza para o volume. Para isso, foi utilizada a equação

$$i_c = \sqrt{i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_N^2} \quad (3.6)$$

onde, i_c é a incerteza combinada e i_N são as incertezas associada aos dados experimentais das N medidas. No guia do aluno são apresentados os valores de incerteza para os volumes que serão utilizados. A partir dessas informações, os grupos conseguem estimar o valor da densidade da água e do óleo.

Na etapa 3 os alunos realizam as medidas com 60 ml de água e 60 ml de óleo. Posteriormente, na etapa 4 os alunos realizam novas medidas, agora com 30 ml de água e 60 ml de óleo. Esse processo será necessário para observar que a densidade da água é constante nas circunstâncias que está sendo realizado o experimento.

Nas etapas 3 e 4 os alunos serão confrontados nos níveis E, F e G sobre sua visão referente a medição. Tais níveis são mostrados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Níveis E, F e G sobre a visão do estudante sobre o processo de medição.
Fonte: Camargo Filho, Laburú, Barros (2015).

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.

No final dessas etapas, espera-se que os alunos consigam obter a densidade da água e a densidade do óleo através da obtenção de dados de massa e volume, reforçando assim as definições e a utilização de medidas diretas e medidas indiretas. Espera-se que os alunos aprendam sobre a propagação da incerteza associada a massa e ao volume, além da utilização do cálculo de média dos dados experimentais.

Todas as etapas até aqui foram importantes para promover uma mudança de mentalidade e aprendizado dos alunos com relação a alguns assuntos sobre medição. Os pontos que foram mais discutidos e os alunos puderam aprender é sobre a coleta e o processamento via cálculo dos dados experimentais.

O Quadro 3.2 contrasta a visão do aluno com relação a coleta e o processamento via cálculo do PP e do PC. É mostrado como é o pensamento esperado que os alunos possuem nesse momento da formação deles e o pensamento que se espera que o aluno passe a obter de acordo com as ações e os raciocínios relacionados ao paradigma de conjunto.

Quadro 3.2 - Coleta e Processamento via cálculo do Paradigma Pontual do Paradigma de Conjunto.
Fonte: Fonte: Camargo Filho, Laburú, Barros (2015).

	<i>Coleta</i>		<i>Processamento via cálculo</i>	
	<i>Ação</i>	<i>Raciocínio</i>	<i>Ação</i>	<i>Raciocínio</i>
<i>Paradigma Pontual</i>	Não é necessário repetir a medição. Repete-se para encontrar um valor recorrente; repete-se para praticar.	A medição direciona a um único valor, ao invés de contribuir para um intervalo. Uma única boa medição é suficiente.	Uma única (melhor) medição, por exemplo, o valor recorrente, é selecionado para representar o valor verdadeiro.	Uma única (melhor) medição, por exemplo, o valor recorrente, é selecionado para representar o valor verdadeiro.
<i>Paradigma de Conjunto</i>	Repetir a medição da mesma quantidade é necessário em consequência da dispersão inerente dos dados.	Cada medição é apenas uma aproximação do valor verdadeiro, e os desvios do valor verdadeiro são aleatórios. Várias medições são necessárias para formar uma distribuição que irá se agrupar em torno de algum valor em particular.	Um conjunto de medições é representado por um constructo teórico, como a média e o desvio padrão.	A melhor informação a respeito do valor verdadeiro é dada pela combinação das medições usando constructos teóricos para caracterizar o conjunto como um todo.

3.2.4 Etapa 5

Na quinta 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. Deseja-se que os alunos tenham percebido e entendido que um melhor valor para uma medida pode ser obtido através de diversas medidas, pois repetir uma medição é necessário por causa da dispersão dos dados. Assim, a distribuição dos dados irá se posicionar em torno de um valor médio.

Durante o processo de fazer medições de volume e massa da água os alunos também estão sendo confrontados com o nível H (a consistência do conjunto de medições deve ser julgada e medições anômalas precisam ser rejeitadas antes de se tirar uma média) sobre a visão dos alunos a respeito de medição. Pode-se observar que os alunos estão sendo confrontados com todos os níveis a todo momento.

3.2.5 Etapa 6

A sexta etapa tem como objetivo o reconhecimento de alguns padrões. Estes padrões são: medida da massa da água aumentar com relação ao aumento do volume, valor da densidade permanecer constante durante as medições, precisão (incerteza relativa) diminuir enquanto o volume aumenta.

3.2.6 Etapa 7

Na sétima etapa os alunos vão compreender alguns pontos importantes, como, por exemplo, o que pode ser feito para tornar uma medição mais precisa. Nesta etapa foram apresentados para os alunos diversos conceitos, tais como desvio padrão, erro padrão e exatidão.

Nesta etapa o professor utilizará os dados que os grupos obtiveram para mostrar, através de uma planilha eletrônica, alguns padrões encontrados com os próprios dados dos alunos. Ao final dessa etapa, espera-se que os alunos tenham entendido os conceitos e que tenham alcançado o nível I “a consistência dos conjuntos de dados pode ser julgada por comparação da localização relativa de suas médias em conjunção com suas propagações” (CAMARGO FILHO, LABURÚ, BARROS, 2015) sobre sua visão referente a medição.

Os gráficos serão mostrados para os alunos por meio de uma planilha eletrônica. O objetivo é fazer com que o pensamento do aluno passe a se comportar de acordo com as ações

e os raciocínios relacionados ao PC. A diferença entre a qualidade dos dados e o conjunto de dados do PC podem ser visto no Quadro 3.3.

Quadro 3.3- Processamento via Comparação Qualidade dos Dados e Comparação Conjunto de Dados do Paradigma de Conjunto. Fonte: Fonte: Camargo Filho, Laburú, Barros (2015).

	<i>Comparação qualidade dos dados</i>		<i>Comparação conjunto de dados</i>	
	<i>Ação</i>	<i>Raciocínio</i>	<i>Ação</i>	<i>Raciocínio</i>
<i>Paradigma de Conjunto</i>	Para o mesmo conjunto de medidas, é considerado o melhor resultado aquele associado ao menor desvio padrão.	O desvio padrão está relacionado à precisão da medição.	O acordo de duas medições está relacionado com o nível de sobreposição de seus intervalos.	A média e o desvio padrão definem um intervalo de confiança, o qual está relacionado tanto com melhor estimativa quanto à confiabilidade da medição.

3.2.7 Etapa 8

A última etapa tem como objetivo revisar de modo geral todos os conhecimentos adquiridos durante a aplicação do Guia Experimental Parte I e Parte II. Ao final desta etapa, espera-se que os alunos tenham preenchido corretamente todos os pontos chaves do Guia Experimental. Ou seja, ao final da aplicação do material, os alunos precisam entender que uma única medida não é suficiente para representar o valor mais adequado de uma medida, nem que essa única medida é o valor verdadeiro. Os alunos precisam estar cientes que uma melhor medição se obtém a partir de um conjunto de dados. Além de que toda medida deve possuir um valor, uma incerteza associada a essa medição e uma unidade de medida. Os alunos precisam perceber que para se obter uma medição mais precisa é necessário possuir uma incerteza menor, e ainda que a média, amplitude ou a incerteza definem um intervalo de confiança que se relaciona com uma melhor estimativa de incerteza.

Este Guia Experimental para os alunos foi construído de modo que, quando finalizado, o aluno possa ter um entendimento mais correto sobre medições. No próximo capítulo será possível verificar os resultados obtidos após a aplicação do guia do aluno.

4 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO GUIA EXPERIMENTAL

Este capítulo tem como objetivo mostrar as respostas dos alunos à aplicação do Guia Experimental. A escola em que o guia foi aplicado é uma escola particular que se encontra no estado do Rio de Janeiro, no município de Niterói. O guia foi aplicado em 2 turmas de ensino médio, uma encontrava-se no 1º ano, onde houve a participação de 8 alunos da turma e a outra no 3º ano do ensino médio, que também contou com a participação de 8 alunos. As turmas foram subdivididas em grupos de até 4 alunos, totalizando 16 alunos que participaram da aplicação do guia experimental. Para poder visualizar os resultados da aplicação apresentados ao longo deste capítulo, os grupos foram separados em grupo A e grupo B. Portanto para a turma de 1º ano teremos os grupos 1A e 1B, para a turma de 3º ano teremos os grupos 3A e 3B.

Importante ressaltar que alguns dos resultados mostrados possuem a numeração das questões (dos itens) diferente da versão final do Guia Experimental do Aluno que se encontra no anexo. No texto da legenda de cada figura há indicação da numeração correta. As perguntas e textos são os mesmos, porém a numeração encontra-se diferente pois ocorreram modificações na estrutura de formatação do guia após testarmos os guias em sala de aula.

4.1 PARTE I

A partir desse momento, serão abordadas as respostas que os alunos deram no roteiro de aplicação do guia experimental. As Figuras 4.1 a 4.3 mostram as respostas dos alunos para as primeiras atividades do guia.

Ao serem questionados sobre os valores diferentes para a massa de uma garrafa de água sobre a balança alguns alunos ficaram de certa forma surpresos com algum valor diferente do anterior aparecendo na balança. Ou seja, se encontrassem, por exemplo 33g e depois 34g os alunos achavam isso estranho em um primeiro momento.

Isso mostra como os alunos estão pertencentes ao nível A sobre a “visão do estudante sobre o processo de medição”, como proposto no artigo do Camargo Filho, Laburú e Barros (2015), que diz que “realizar uma única medição e este é o valor correto”. O aluno estar neste nível mostra que o mesmo, provavelmente, se encontra no PP, por isso o objetivo desta atividade é mostrar que é necessário realizar mais de uma medição.

Garrafa com água	
Aluno	Massa (g)
1	229g
2	229g
3	228g
4	229g
5	

Tabela 2 – Medida de massa da garrafa.

1.1 - Após realizar as medições discuta em grupo e anote as informações desejadas. As massas obtidas apresentaram valores diferentes umas das outras? Se sim, por que isso aconteceu?

Quase todos os números foram iguais exceto do aluno 3 que posicionou a garrafa mais na borda da balança.

Figura 4.1 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.1, etapa 1, grupo 1A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 1.2). Resposta transcrita: “Quase todos os números foram iguais exceto do aluno 3 que posicionou a garrafa mais na borda da balança”.

Garrafa com água	
Aluno	Massa (g)
1	231
2	231
3	230
4	230
5	

Tabela 2 – Medida de massa da garrafa.

1.1 - Após realizar as medições discuta em grupo e anote as informações desejadas. As massas obtidas apresentaram valores diferentes umas das outras? Se sim, por que isso aconteceu?

Sim, pois a garrafa foi colocada em diferentes posições da balança.

Figura 4.2 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.1, etapa 1, grupo 1B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 1.2). Resposta transcrita: “Sim, pois a garrafa foi colocada em diferentes posições da balança”

Garrafa com água	
Aluno	Massa (g)
1	226
2	224
3	225
4	225
5	

Tabela 2 – Medida de massa da garrafa.

1.1 - Após realizar as medições discuta em grupo e anote as informações desejadas. As massas obtidas apresentaram valores diferentes umas das outras? Se sim, por que isso aconteceu?

Sim. Porque a balança não é 100% precisa e existe uma margem de erro.

Figura 4.3 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.1, etapa 1, grupo 3B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 1.2). Resposta transcrita: “Sim. Porque a balança não é 100% precisa e existe uma margem de erro.”.

Os grupos deram duas explicações distintas para a mudança do valor da massa da garrafa na leitura da balança. A primeira seria por causa da mudança do posicionamento da garrafa na base da balança, em que um grupo afirma: “pois a garrafa foi colocada em diferentes posições da balança”. Neste primeiro relato pode-se observar que alguns alunos associam a diferença dos valores medidos à posição da garrafa sobre a balança, não a uma incerteza associada à balança. Observa-se que esses alunos se encontram no PP, repetindo a medição para praticar ou até encontrar um valor recorrente. Para a segunda explicação, o grupo escreve que a balança possui uma “margem de erro” e afirma que “a balança não é 100% precisa”. O que falta em alguns alunos nesse ponto é entenderem que existe uma incerteza associada a massa do objeto. Quando o grupo representado na Figura 4.3 afirma que a balança não é 100% precisa, transmite a ideia de que alguma coisa pode ser 100% preciso, o que não é verdade, pois não existe medição cuja a incerteza seja zero.

Na mesma etapa foi solicitado que os alunos obtivessem a medida da massa da garrafa. O resultado está representado pelas Figuras 4.4 e 4.5.

1.2 - Obtenham uma estimativa para o valor da massa da garrafa. Usem os valores de massa registrados por vocês na tabela 2.

<p><i>média da massa</i></p> $\frac{226 + 226 + 227 + 228}{4}$ <p>$= 226,75$</p>	<p><i>estimativa da incerteza</i></p> $\frac{228 - 226}{2} = \frac{2}{2} = 1$ <p>R: massa = 227 ± 1 g</p>
---	--

Figura 4.4 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.2, etapa 1, grupo 3A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 1.4).

Para alguns alunos, este foi o primeiro contato com incerteza de uma medida. Mesmo assim, os alunos conseguiram representar o valor da medida de massa pela média dos valores de massa e sua incerteza simplificada resolvendo pela metade da amplitude das massas, como orientados no guia do aluno. Alguns alunos representaram também a medida da massa com a incerteza por conjuntos, como representado na Figura 4.5, entendendo que o valor obtido pode variar entre um valor mínimo e um valor máximo. Para esses alunos, fazer desta forma ajudou o grupo a visualizar melhor a faixa de variação da estimativa de incerteza.

Este item do guia experimental tem como objetivo poder confrontar os alunos com relação ao nível E que diz que “É necessário tirar uma média de diferentes medições. Variar sutilmente as condições para evitar obter os mesmos resultados.” (CAMARGO FILHO, LABURÚ, BARROS. 2015) sobre a visão do aluno referente a medição. O nível E é categorizado como Paradigma de Conjunto Básico, por isso, ao longo de todo guia é solicitado que os alunos calculem a média de algum conjunto de dados em diversas etapas, pois o objetivo é que este fundamento seja reforçado aos alunos.

Continuando a sequência do roteiro de aplicação do guia experimental, na etapa 2 foi dado aos alunos um copo plástico (do tipo descartável de 200ml) cuja massa não seria registrada na leitura da balança (situação específica para a balança utilizada). O objetivo é poder verificar novamente o nível de compreensão acerca de medição que os alunos possuem. No artigo de Camargo Filho, Laburú, Barros (2015) pode-se observar que o nível B diz que “A menos que você obtenha um valor diferente do esperado, a medição está correta”, ou seja, queríamos

verificar se os alunos entenderiam que existe massa para o copo descartável, mesmo a balança registrando massa zero. Uma observação para este ponto é que a balança utilizada na aplicação do guia com os alunos não registra valores abaixo de aproximadamente 4 g. As conclusões podem ser vistas nas Figuras 4.6 e 4.7.

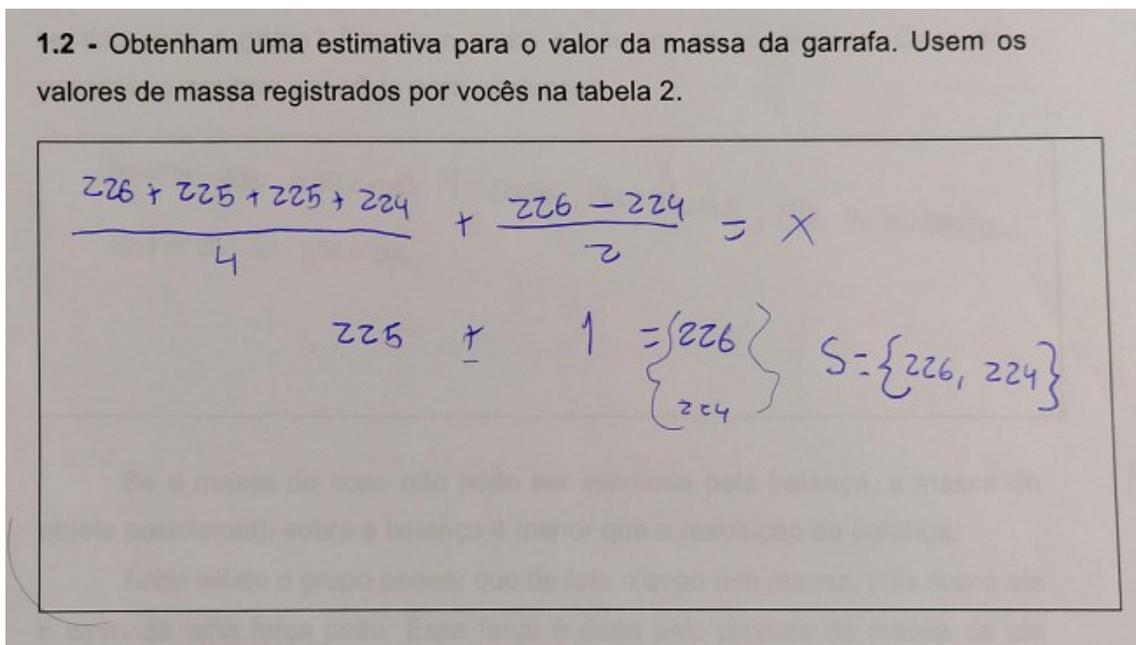


Figura 4.5 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.2, etapa 1, grupo 3B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 1.4). Alguns alunos representam o valor da estimativa da incerteza por meio de conjuntos.

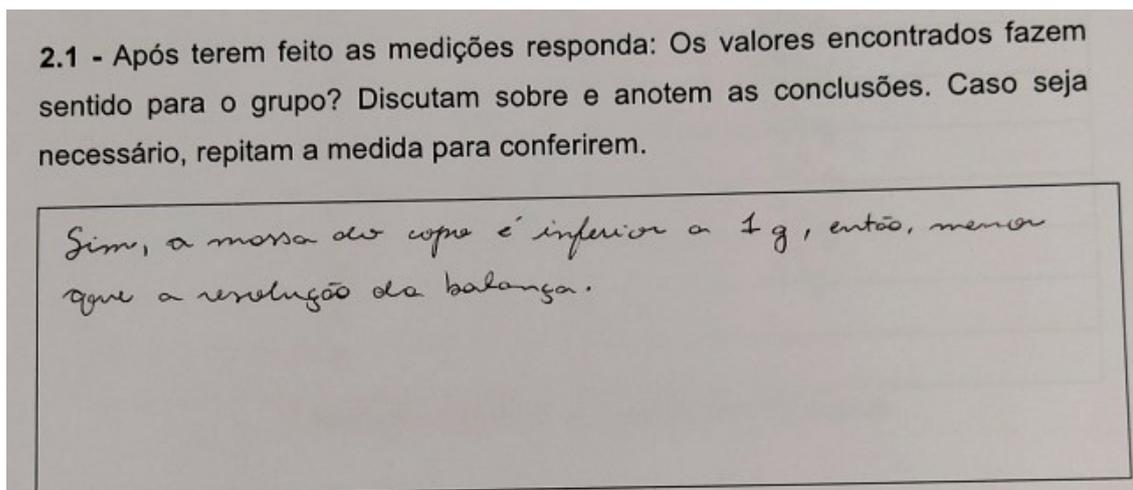


Figura 4.6 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 2.1, etapa 1, grupo 3A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 2.2). Resposta transcrita: “Sim, a massa do copo é inferior a 1g, então, menor que a resolução da balança.”.

2.1 - Após terem feito as medições responda: Os valores encontrados fazem sentido para o grupo? Discutam sobre e anotem as conclusões. Caso seja necessário, repitam a medida para conferirem.

Sim, pois a balança não tem capacidade de medir massas tão pequenas.

Figura 4.7 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 2.1, etapa 1, grupo 1B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 2.2). Resposta transcrita: “Sim, pois a balança não tem capacidade de medir massas tão pequenas.”.

Os alunos observaram que a massa do copo de fato não poderia ser zero, pois perceberam que mesmo o copo não marcando um valor na balança, ao soltar o copo no ar ele caía pois tinha massa e sofria a ação da aceleração da gravidade, logo sobre ele era exercida a força peso. Pode-se observar que os alunos entendem que existem balanças que são capazes de medir certos valores de massas e outras que não são. Também conseguiram estimar a resolução da balança em cerca de 1g. Perceberam que não era possível achar a massa de um copo com a balança utilizada por meio de uma medição direta.

Na sequência da etapa 2 é proposto colocar mais 19 copos sobre o outro 1 copo utilizado anteriormente. É solicitado que os alunos encontrassem a massa de apenas 1 copo a partir dos 20 copos. Existe um modelo idealizado de que todos os copos possuem exatamente a mesma massa. Os resultados encontrados são mostrados nas Figuras 4.8 e 4.9.

2.2.3 – Estimem a massa de apenas 1 copo, juntamente com sua incerteza.

$$\text{Média} = 1,64 \text{ g}$$

$$\text{Incerteza} = 0,05 \text{ g}$$

$$1,64 \pm 0,05 \text{ g} = \{ 1,69; 1,59 \} \text{ g}$$

Figura 4.8 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 2.2.3, etapa 1, grupo 1A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 2.3.4).

2.2.3 – Estimem a massa de apenas 1 copo, juntamente com sua incerteza.

$$\begin{array}{r} 33,625 \quad | \quad 20 \\ \hline 1,68125 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 0,500 \quad | \quad 20 \\ \hline 0,025 \end{array}$$
$$1,681 \pm 0,025g$$

Figura 4.9 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 2.2.3, etapa 1, grupo 1B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 2.3.4).

Espera-se que o aluno tenha entendido o conceito de resolução de leitura de um instrumento além disso, é esperado que o aluno possa observar que é possível obter valores de massa para objetos cuja massa é menor que a faixa de medição da balança. Os grupos conseguiram trabalhar com noções de média e incerteza. Um dos objetivos deste item é mostrar para os alunos que as medições não são feitas apenas para praticar, medições são feitas para a obtenção de um conjunto de dados. Por isso, os alunos estarão sendo confrontados no nível C de PP que diz que: “realizar algumas medições para praticar, e então, fazer a medição que deseja” (CAMARGO FILHO, LABURÚ, BARROS. 2015). Neste item, os alunos irão obter a massa de apenas um copo de maneira indireta, através de um conjunto de dados e operações como média e cálculo de incerteza, não será realizada apenas uma medição depois de praticada a realização do experimento.

Neste momento do guia os alunos entenderam que diretamente colocando 1 copo na balança não seria possível calcular o valor da massa do copo de plástico. Houve a necessidade de o professor intervir e incentivar aos alunos formas de como seria possível então obter a massa do copo. Após uma conversa breve sobre possibilidades, os alunos entenderam que aumentando o número de copos seria possível obter a massa de 1 copo indiretamente por meio dos outros copos sobre a balança. Os alunos acharam, segundo suas palavras: “muito legal” a maneira de conseguir achar a massa de 1 copo, a partir de outros copos. Outra aluna falou “esse guia é melhor do que ficha de exercícios”.

Na próxima etapa os alunos passaram por diversos questionamentos, tais como a previsão do que aconteceria se misturar água e óleo, a definição de densidade e a análise de hipóteses. Os alunos obtiveram as massas tanto do copo água e com óleo, depois tinham que dizer qual sistema copo + líquido obteve uma maior massa e prever qual líquido, quando misturados, ficará em baixo ou em cima. Todos os grupos encontraram a massa do copo com

água sendo maior que a massa do copo com óleo. Sobre a previsão dos líquidos misturados, algumas respostas estão representadas nas Figuras 4.10 a 4.13.

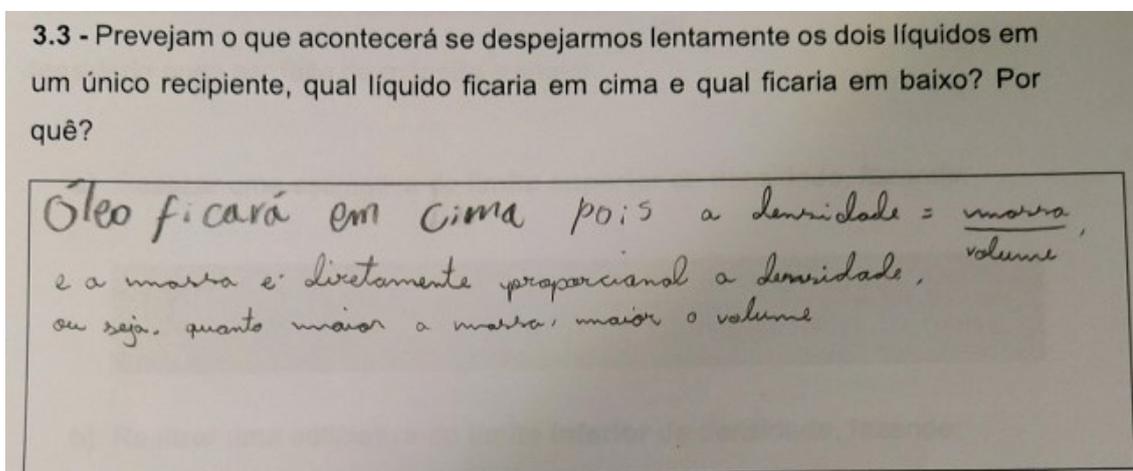


Figura 4.10 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 3.3, etapa 1, grupo 1A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 3.4). Resposta transcrita: “Óleo ficará em cima pois a densidade = massa/volume, e a massa é diretamente proporcional a densidade, ou seja, quanto maior a massa, maior o volume”.

Este grupo, mesmo sem ser falado antes, já sabia a definição para a densidade. Alguns alunos sabiam que a densidade dos líquidos deveria ser constante, portanto, entendem que existiria uma proporcionalidade entre a massa e densidade.

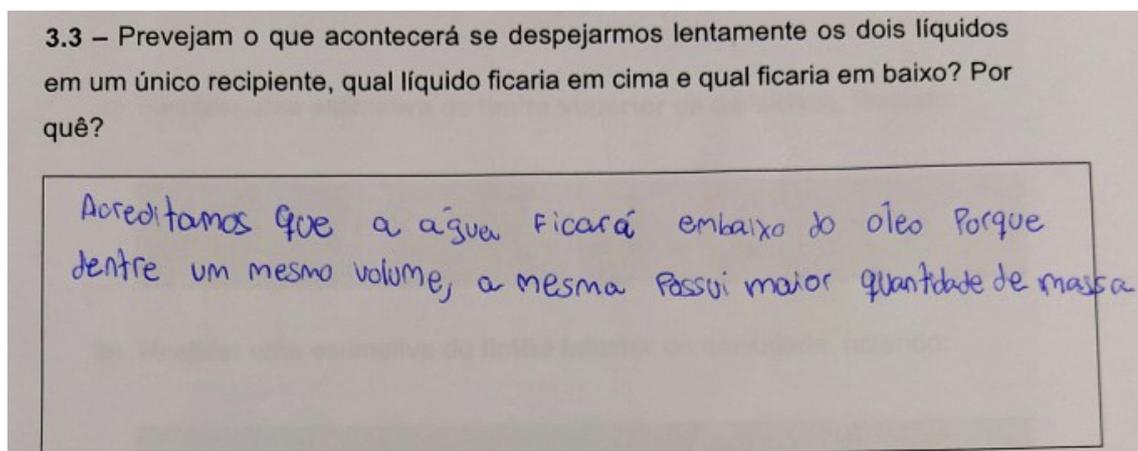


Figura 4.11 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 3.3, etapa 1, grupo 3B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 3.4). Resposta transcrita: “Acreditamos que a água ficará embaixo do óleo porque dentre um mesmo volume, a mesma possui maior quantidade de massa”.

É mostrado na Figura 4.12 um pensamento errado do grupo. O grupo prevê que quanto maior a massa do líquido maior será a densidade do líquido. O erro do grupo está no fato de associar o valor da densidade com o valor da massa.

3.3 - Prevejam o que acontecerá se despejarmos lentamente os dois líquidos em um único recipiente, qual líquido ficaria em cima e qual ficaria em baixo? Por quê?

Como a água tem uma densidade maior do que a do óleo, este ficará em cima e a água em baixo.
Concluindo, quanto maior a massa, maior a densidade.

Figura 4.12 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 3.3, etapa 1, grupo 1B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 3.4). Resposta transcrita: “Como a água tem uma densidade maior do que a do óleo, este ficará em cima e a água em baixo. Concluindo, quanto maior a massa, maior a densidade”.

Em relação à mesma pergunta, este próximo grupo entende que a densidade da água é maior que a densidade do óleo. Afirmam então, que água ficará embaixo e o óleo por cima por causa da densidade.

Pode-se concluir que todos os grupos previram corretamente (mesmo com justificativas erradas) que a água ficaria em baixo e o óleo ficaria em cima.

3.3 – Prevejam o que acontecerá se despejarmos lentamente os dois líquidos em um único recipiente, qual líquido ficaria em cima e qual ficaria em baixo? Por quê?

Prevemos que o óleo ficará em cima e a água ficará embaixo ao despejar os dois no mesmo copo. Isso ocorre porque a densidade da água é maior do que o óleo.

Figura 4.13 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 3.3, etapa 1, grupo 3A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 3.4). Resposta transcrita: “Prevemos que o óleo ficará em cima e a água ficará embaixo ao despejar os dois no mesmo copo. Isso ocorre porque a densidade da água é maior que a do óleo.”.

Foi pedido que os grupos estimassem o valor da densidade e da incerteza dos líquidos água e óleo com os dados coletados. Segue na Figura 4.14 os cálculos de um grupo sobre o item pedido.

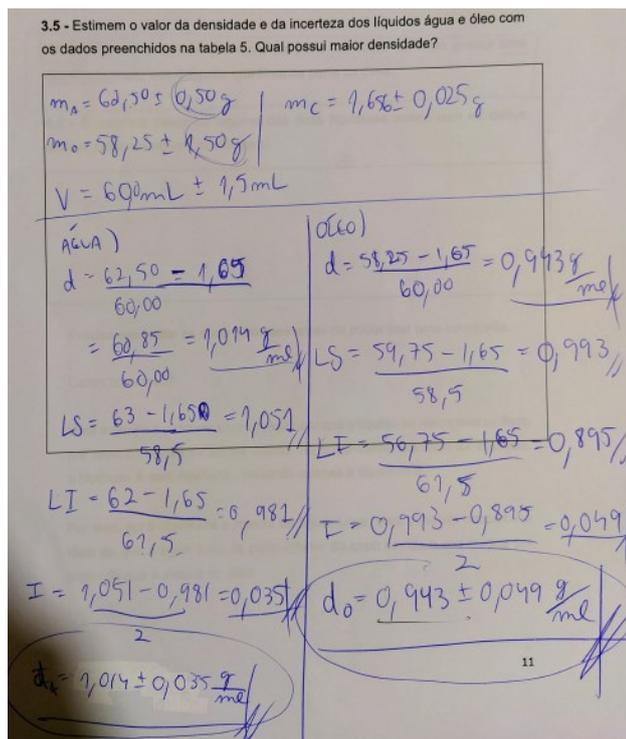


Figura 4.14 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 3.5, etapa 1, grupo 3B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 3.6).

Os alunos conseguiram desenvolver os cálculos para encontrar a densidade da água e a densidade do óleo. Além disso, realizaram os cálculos do limite inferior e superior para estimar a incerteza da medição. O objetivo de realizar as medições do item 3.5 é reforçar nos alunos o raciocínio do PC sobre o processamento via cálculo, presente no Quadro 2.3 que afirma que: “a melhor informação a respeito do valor verdadeiro é dada pela combinação das medições usando constructos teóricos para caracterizar o conjunto como um todo” (CAMARGO FILHO, LABURÚ, BARROS. 2015). Por isso, no guia do aluno é solicitado por diversos momentos que os alunos calculem a densidade da água e a densidade do óleo, através de médias, cálculos de estimativa de incerteza e obtenção de dados.

Logo em seguida são apresentados para os alunos duas hipóteses sobre a configuração final da mistura entre água e óleo. A hipótese A diz: “o líquido que ficou na parte de baixo do copo possui uma massa maior que o líquido que ficou na parte de cima” e a hipótese B afirma que: “o líquido que ficou na parte de baixo do copo possui uma densidade maior que o líquido que ficou na parte de cima”. Os alunos são questionados se é possível, com os dados obtidos até o momento, descartar algumas das hipóteses. As Figuras 4.15 e 4.16 mostram algumas respostas dos grupos.

4.0 - É possível descartar alguma das duas hipóteses acima com os dados obtidos até o momento? Justifiquem.

Não, pois o experimento provou que ambas as hipóteses estão certas

Figura 4.15 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.0, etapa 1, grupo 1A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 3.7). Resposta transcrita: “Não, pois o experimento provou que ambas as hipóteses estão certas”.

Os alunos concluíram esta etapa dizendo que não é possível descartar nenhuma das hipóteses. Um grupo concluiu que não é possível descartar pois existem ainda dois fatores nos dados coletados. O primeiro é que a massa da água é maior que a massa do óleo. O segundo é que a densidade da água é maior. Na continuação do Guia Experimental os alunos irão diminuir a massa da água, e assim poderão verificar se alguma hipótese poderá ser descartada.

4.0 - É possível descartar alguma das duas hipóteses acima com os dados obtidos até o momento? Justifiquem.

Não é possível descartar nenhuma das hipóteses, visto que A: a massa da água é maior que a do óleo, e B: a densidade da água é maior.

Figura 4.16 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.0, etapa 1, grupo 3A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 3.7). Resposta transcrita: “Não é possível descartar nenhuma das hipóteses, visto que A: a massa da água é maior que a do óleo, e B: a densidade da água é maior.”.

4.2 PARTE II

A primeira pergunta feita nesta etapa é a continuação da última feita na parte I do guia. Agora os alunos tinham que pensar em uma possibilidade para descartar uma das hipóteses. A hipótese A afirmava que o líquido que ficou na parte de baixo do copo possuía uma massa maior que o líquido que ficou na parte de cima. Por outro lado, a hipótese B afirmava que o líquido

que ficou na parte de baixo do copo possuía uma densidade maior que o líquido que ficou na parte de cima. A resposta de um grupo segue na Figura 4.17.

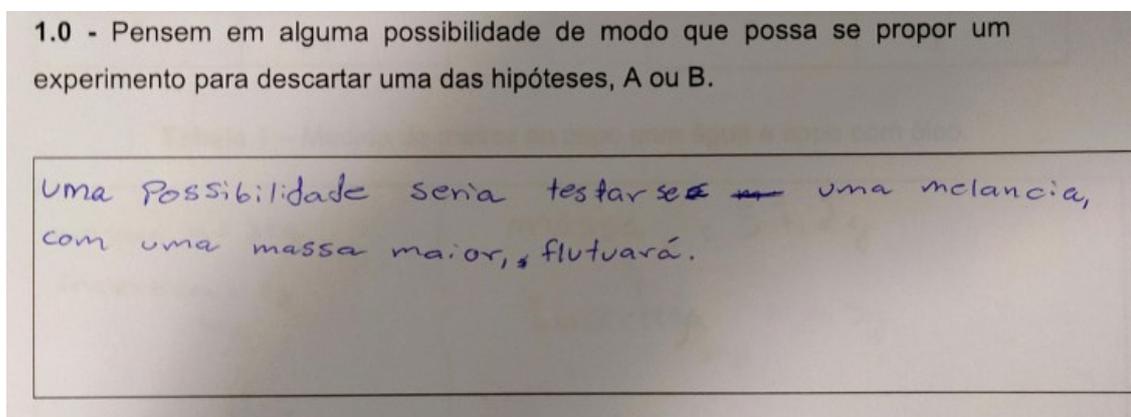


Figura 4.17 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.0, etapa 2, grupo 1A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.1). Resposta transcrita: “Uma possibilidade seria testar se uma melancia, com uma massa maior, flutuará.”.

É possível observar o grupo propondo uma possível solução para verificar como descartar uma das hipóteses. Esse raciocínio é exatamente o que vai ser discutido logo em seguida no guia experimental do aluno: diminuir o volume do líquido água (e consequentemente a sua massa) e manter o volume do líquido óleo. No caso específico deste grupo, embora os alunos tenham entendido a necessidade de alterar o valor da massa, para assim poder verificar a hipótese, eles introduziram uma variável de um novo elemento (massa da melancia) ao invés de buscar controlar a variável massa da água e/ou do óleo.

Por isso foi pedido que o grupo preenchesse um copo com 30 ml de água e um outro com 60 ml de óleo. Depois, os alunos teriam que calcular medidas de massa do copo que contém água e do copo que contém óleo. Novamente, é pedido ao grupo que realizem medições da massa da água e da massa do óleo. Isso é feito para reforçar que uma única medida não é suficiente e também que um valor recorrente não é necessariamente o valor de referência da medição. Os resultados se encontram nas Figuras 4.18 e 4.19.

Na medida com água, feita pelos alunos mostrados na Figura 4.18, se fosse seguido a regra proposta no guia do aluno para o cálculo da incerteza pela metade da amplitude, a estimativa da incerteza obtida seria zero. Os alunos, entendendo que a estimativa da incerteza não pode ser zero, estimaram a incerteza da massa sendo a incerteza da resolução da balança.

Quando os alunos são perguntados sobre qual sistema possui maior massa, a resposta foi a mesma para todos, o copo com óleo possui maior massa que o sistema copo com água. Sabendo agora qual sistema possui maior massa os alunos vão calcular a densidade da água e a

densidade do óleo para esses novos valores de massa. Nas Figuras 4.20 e 4.21 seguem algumas respostas.

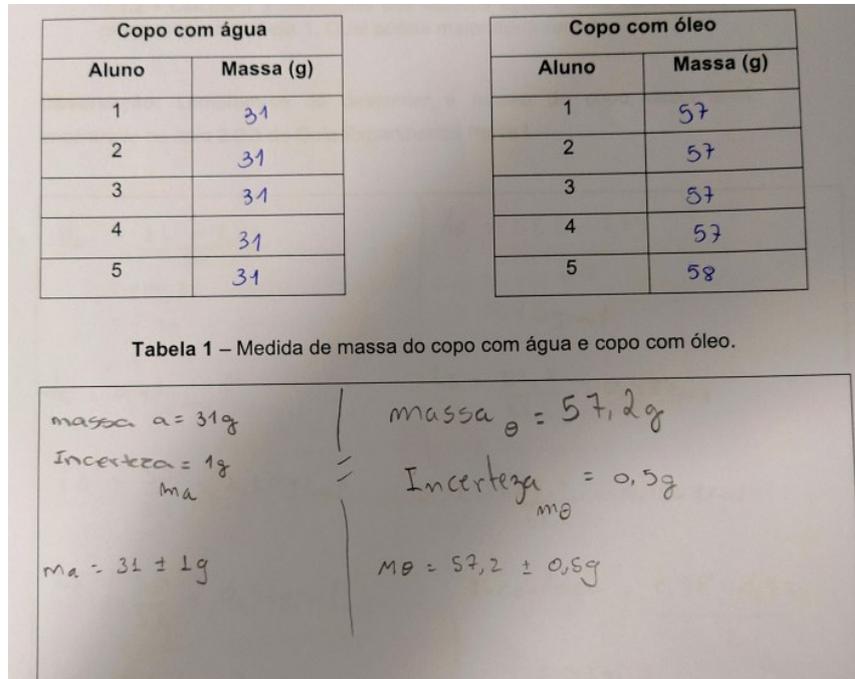


Figura 4.18 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.1.0, etapa 2, grupo 1A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.2.1).

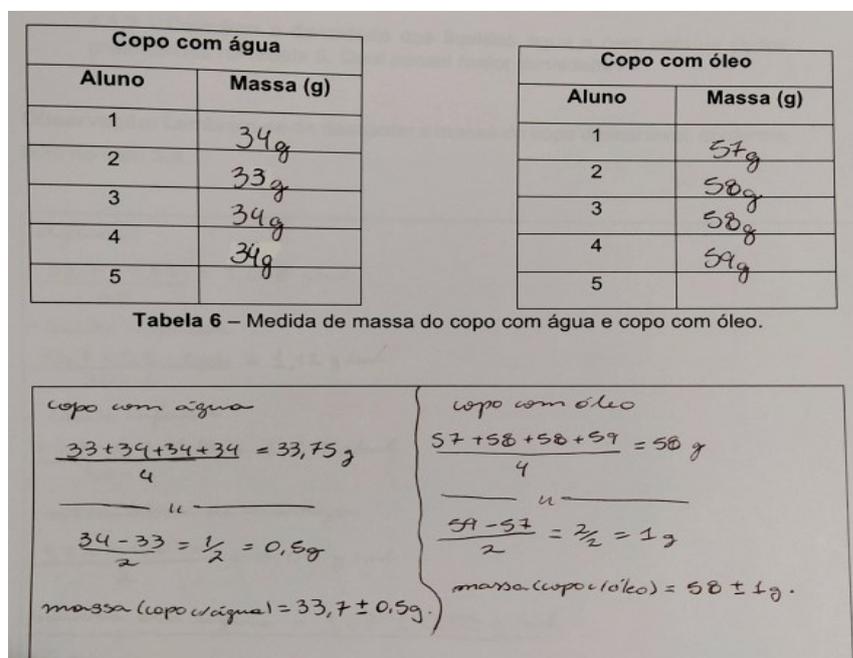


Figura 4.19 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.1.0, etapa 2, grupo 3A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.2.1).

água:

$$\frac{33,7 - 1,66}{30} = 1,068 \text{ g/ml}$$

- limite superior

$$\frac{33,7 + 0,5 - 1,66}{30 - 1} = 1,12 \text{ g/ml}$$

- limite inferior

$$\frac{33,7 - 0,5 - 1,66}{30 + 1} = 1,017 \text{ g/ml}$$

- estimativa de incerteza

$$\frac{1,12 - 1,017}{2} = 0,05 \text{ g/ml}$$

massa da água = $1,07 \pm 0,05 \text{ g/ml}$

óleo:

$$\frac{58 - 1,66}{60} = 0,939 \text{ g/ml}$$

- limite superior

$$\frac{58 + 1 - 1,66}{60 - 1,05} = 0,972 \text{ g/ml}$$

- limite inferior

$$\frac{58 - 1 - 1,66}{60 + 1,05} = 0,906 \text{ g/ml}$$

- estimativa de incerteza

$$\frac{0,972 - 0,906}{2} = 0,033 \text{ g/ml}$$

massa do óleo = $0,94 \pm 0,03 \text{ g/ml}$

Figura 4.20 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.1.2, etapa 2, grupo 3A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.2.3).

Os grupos observaram que, mesmo diminuindo a massa da água, deixando-a assim menor que a massa do óleo, a densidade da água é maior que a densidade do óleo.

$d_a = \frac{32 - 1,64}{30}$ $= \frac{29,36}{30}$ $d_a = 0,977 \text{ g/ml}$ $L_s = \frac{32}{29} = 1,10 \text{ g/ml}$ $L_i = \frac{30}{31} = 0,96 \text{ g/ml}$ $\text{incerteza} = \frac{1,10 - 0,96}{2}$ $= 0,07 \text{ g/ml}$ $d_a = 0,97 \pm 0,07 \text{ g/ml}$	$d_o = \frac{57,2 - 1,64}{60}$ $= 0,93 \text{ g/ml}$ $L_s = \frac{57,7}{58,5} = 0,98 \text{ g/ml}$ $L_i = \frac{56,7}{61,5} = 0,92 \text{ g/ml}$ $\text{Incerteza} = \frac{0,98 - 0,92}{2}$ $= 0,03 \text{ g/ml}$ $d_o = 0,93 \pm 0,03 \text{ g/ml}$
--	--

Figura 4.21 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.1.2, etapa 2, grupo 1A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.2.3).

A partir desse momento os alunos foram questionados novamente sobre uma previsão de qual líquido ficaria em cima e qual ficaria em baixo quando misturados. Algumas respostas seguem nas Figura 4.22 Figuras 4.22 e 4.23.

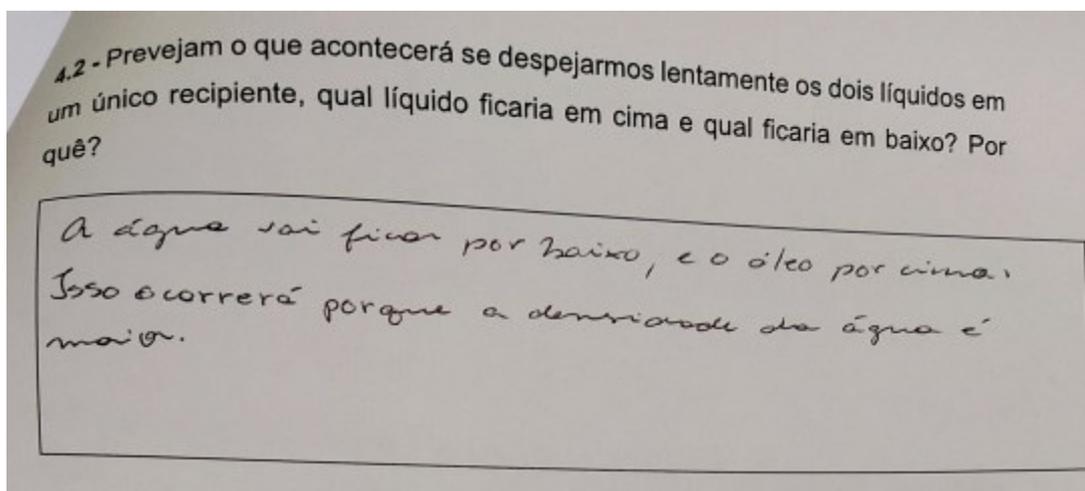


Figura 4.22 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.2, etapa 2, grupo 3A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.3). Resposta transcrita: “A água vai ficar por baixo, e o óleo por cima. Isso ocorrerá porque a densidade da água é maior.”.

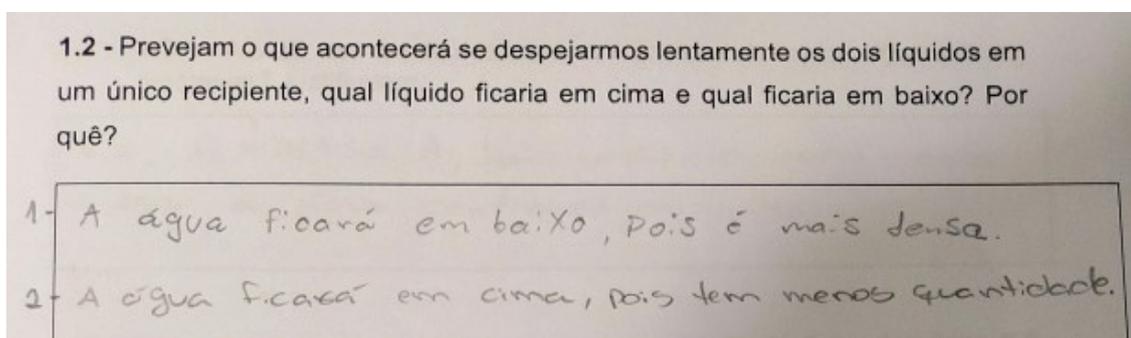


Figura 4.23 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.2, etapa 2, grupo 1A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.3). Resposta transcrita: “1 - A água ficará em baixo, pois é mais densa. 2 - A água ficará em cima, pois tem menos quantidade.”.

Um grupo conseguiu entender o motivo da água ficar em baixo e do óleo ficar em cima. Mas, na Figura 4.23, ainda vemos um grupo com previsões diferentes. Uma parte do grupo acredita que a água ficará em baixo, por causa da sua maior densidade. Uma outra parte do grupo acredita que a água ficará agora em cima por ser mais leve que o óleo. Após a previsão, novamente é pedido para que os alunos misturassem os dois líquidos e observassem o que aconteceria.

Na sequência é pedido que os alunos analisem os dados encontrados e se seria possível descartar uma das hipóteses feitas anteriormente. As respostas dos alunos nas Figuras 4.24 e

4.25 mostram que os alunos entenderam o real motivo da água ficar em baixo e o óleo em cima, quando misturados.

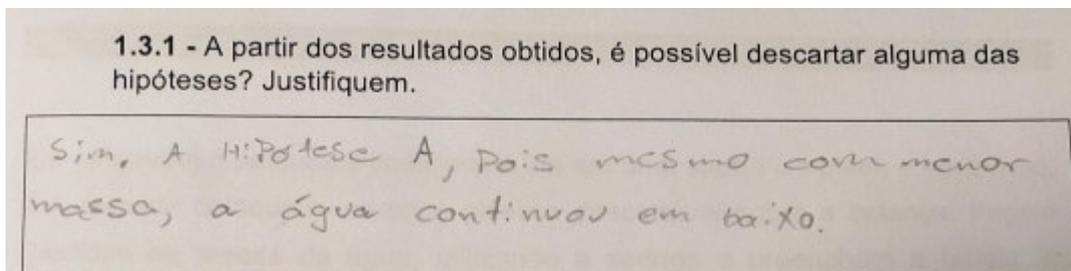


Figura 4.24 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 1.3.1, etapa 2, grupo 1A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.4.2). Resposta transcrita: “Sim, a hipótese A, pois mesmo com menor massa, a água continua em baixo (sic).”.

Os grupos entendem que a razão de um líquido ficar abaixo ou acima de outro não tem relação com a massa. Os grupos perceberam que a densidade é a grandeza física responsável por esse fato.

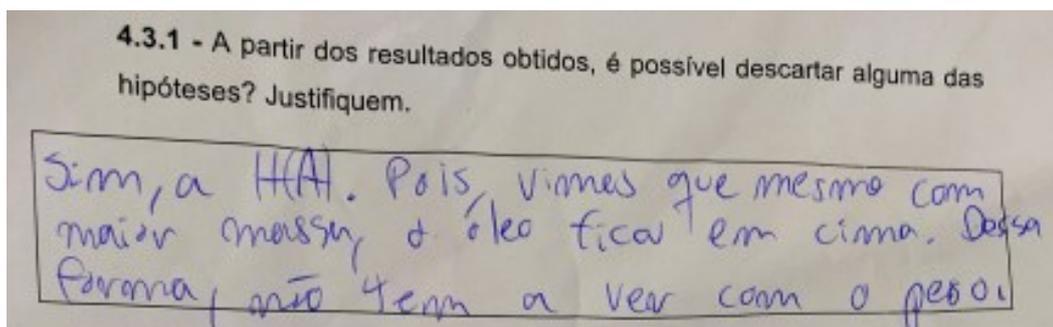


Figura 4.25 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.3.1, etapa 2, grupo 3B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.4.2). Resposta transcrita: “Sim, a H(A). Pois, vimos que mesmo com maior massa, o óleo ficou em cima. Dessa forma, não tem a ver com o peso.”.

Em seguida os alunos devem comparar a densidade da água encontrada com o volume de 30 ml e a densidade da água com o volume de 60 ml, e assim responderam o que foi possível perceber sobre a densidade a partir dos dados. O objetivo deste item é despertar nos alunos uma concepção em relação ao Paradigma de Conjunto Avançado. O nível I sobre a visão do aluno referente a medição diz que “a consistência dos conjuntos de dados pode ser julgada por comparação da localização relativa de suas médias em conjunção com suas propagações” (CAMARGO FILHO, LABURÚ, BARROS. 2015). É necessário neste ponto que os alunos aprendam a observar dois conjuntos de dados e comparar informações entre si. As respostas podem ser vistas nas Figuras 4.26 e 4.28.

Densidade da água 60ml	Densidade da água 30ml
$1,014 \pm 0,035 \text{ g/ml}$	$1,070 \pm 0,053 \text{ g/ml}$

Tabela 7 – Comparação entre densidade da água com volumes diferentes.

4.4.0 – O que é possível perceber sobre a densidade da água a partir da tabela 7?

que é "igual" independente da massa. Pelo que parece, é em torno de 1 g/ml .

Figura 4.26 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.4 e 4.4.0, etapa 2, grupo 3B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.5 e 4.5.1). Resposta transcrita: "que é "igual" independentemente da massa. Pelo que parece, é em torno de 1 g/ml."

Densidade de 60ml de água	Densidade de 30ml de água
$1,01 \pm 0,03 \text{ g/ml}$	$0,97 \pm 0,07 \text{ g/ml}$

Tabela 2 – Comparação entre densidade da água com volumes diferentes.

1.4.0 – O que é possível perceber sobre a densidade da água a partir da tabela 2?

Foi possível perceber que a densidade da água não depende da quantidade.

Figura 4.27 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.4 e 4.4.0, etapa 2, grupo 1A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.5 e 4.5.1). Resposta transcrita: "Foi possível perceber que a densidade da água não depende da quantidade."

Todos os grupos entenderam que a densidade da água permanece constante dentro de uma faixa de valores; um dos grupos chegou inclusive a fazer uma ilustração representando os valores das densidades encontradas.

Em seguida, os alunos deveriam obter valores para a massa da água utilizando diferentes volumes de água, como mostrado na Figura 4.29. Nesta etapa as medidas seriam feitas com a seringa, fazendo medidas de 20ml em 20ml, até 100ml. Como a incerteza da seringa era de 0,5 ml e como forma de simplificar a propagação de incertezas para os alunos, neste primeiro momento a incerteza das n medidas de volume foi superestimada como sendo a soma das incertezas nas n medidas, ao invés do correto que seria a raiz quadrada da soma dos quadrados

das n medidas. Foi orientado que os alunos fizessem as medidas e descontassem o valor da massa do copo, obtido anteriormente no guia experimental. Assim, realizaram o mesmo processo já feito anteriormente para obtenção da medida da massa para a água. O objetivo deste item, assim como o dos itens anteriores que pedem a obtenção de dados de massa e volume a fim de ser calculada a densidade, é contrapor a visão dos alunos no que se refere à medição.

Densidade da água 60ml	Densidade da água 30ml
$1,05 \pm 0,03 \text{ g/ml}$	$1,07 \pm 0,05 \text{ g/ml}$

Tabela 7 – Comparação entre densidade da água com volumes diferentes.

4.4.0 – O que é possível perceber sobre a densidade da água a partir da tabela 7?

Que ela não se altera devido à alteração de massa.

Na próxima aula, será possível explorar melhor algumas características sobre a densidade de líquidos, através de uma análise gráfica.

Figura 4.28 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.4 e 4.4.0, etapa 2, grupo 3A (na versão final do guia experimental do aluno é o item 4.5 e 4.5.1). Resposta transcrita: “*Que ela não se altera devido à alteração de massa.*”.

Com referência no artigo de Camargo Filho, Laburú, Barros (2015), os pontos que são contrastados nesses processos de medição são as visões de que “não é necessário repetir a medição. Repete-se para encontrar um valor recorrente; repete-se para praticar” ou que “uma única (melhor) medição, por exemplo, o valor recorrente, é selecionado para representar o valor verdadeiro”. A finalidade então é transpor os alunos do pensamento pontual (PP) para um pensamento de conjunto (PC), onde os alunos precisam consolidar o entendimento de que “cada medição é apenas uma aproximação do valor verdadeiro, e os desvios do valor verdadeiro são

aleatórios. Várias medições são necessárias para formar uma distribuição que irá se agrupar em torno de algum valor em particular” e que “a melhor informação a respeito do valor verdadeiro é dada pela combinação das medições usando constructos teóricos para caracterizar o conjunto como um todo”.

Aluno	Volume da Água (ml)	Leituras da Massa da Água (g)	Medida da Massa da Água (g)
1	20,0 ± 0,5	<ul style="list-style-type: none"> • 20 • 20 • 20 • 20 • 20 } -1,7 <ul style="list-style-type: none"> • 18,3 • 18,3 • 18,3 • 18,3 • 18,3 	18 ± 1g
2	40,0 ± 1,0	<ul style="list-style-type: none"> • 42 • 43 • 42 • 42 • 42 } -1,7 <ul style="list-style-type: none"> • 40,3 • 43,3 • 40,3 • 40,3 • 40,3 	40,5 ± 0,5g
3	60,0 ± 1,5	<ul style="list-style-type: none"> • 61 • 62 • 61 • 61 • 61 } -1,7 <ul style="list-style-type: none"> • 59,3 • 60,3 • 59,3 • 59,3 • 59,3 	59,5 ± 0,5g
4	80,0 ± 2,0	<ul style="list-style-type: none"> • 81 • 80 • 81 • 81 • 81 } -1,7 <ul style="list-style-type: none"> • 79,3 • 78,3 • 79,3 • 79,3 • 79,3 	78,5 ± 0,5g
5	100,0 ± 2,5	<ul style="list-style-type: none"> • 101 • 102 • 101 • 101 • 101 } -1,7 <ul style="list-style-type: none"> • 99,3 • 100,3 • 99,3 • 99,3 • 99,3 	99,5 ± 0,5g

Tabela 3 – Valores medidos de volume e massa de água.

Figura 4.29 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 2.0, etapas 2, grupo 3B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 5.1).

Os alunos realizaram alguns cálculos já feitos antes, e depois organizaram os dados em uma tabela como mostrado nas Figuras 4.30 e 4.31.

Medida de Volume da Água (ml)	Medida de Massa da Água (g)	Valor da Densidade da Água (g/ml)	Limite Superior da Densidade (g/ml)	Limite Inferior da Densidade (g/ml)	Estimativa da incerteza (g/ml)
20,0 ± 0,5	19,9 ± 0,5	1,00	1,0461	0,9483	0,05
40,0 ± 1,0	41 ± 1	1,03	1,0769	0,9756	0,05
60,0 ± 1,5	61,5 ± 1,5	1,03	1,0769	0,9756	0,05
80,0 ± 2,0	81 ± 2	1,01	1,0641	0,9634	0,05
100,0 ± 2,5	100 ± 2	1,00	1,0461	0,9560	0,04

Tabela 4 – Estimativas de densidade e incerteza da água.

3.1 – Observando a tabela 4 o grupo consegue identificar padrões dos dados preenchidos?

Observamos que os valores de densidade e incerteza foram bem próximos.

Figura 4.30 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 3.0 e 3.1, etapa 2, grupo 3ª (na versão final do guia experimental do aluno é o item 6.1 e 6.2). Resposta transcrita: “Observamos que os valores de densidade e incerteza foram bem próximos.”.

Medida de Volume da Água (ml)	Medida de Massa da Água (g)	Valor da Densidade da Água (g/ml)	Limite Superior da Densidade (g/ml)	Limite Inferior da Densidade (g/ml)	Estimativa da incerteza (g/ml)
20,0 ± 0,5	18,6 ± 0,5	0,930	0,97	0,89	0,045
40,0 ± 1,0	41 ± 1	1,025	1,076	0,99	0,053
60,0 ± 1,5	59,8 ± 0,5	0,996	1,030	0,96	0,035
80,0 ± 2,0	79 ± 1	0,987	1,025	0,95	0,038
100,0 ± 2,5	98 ± 1	0,980	1,025	0,94	0,038

Tabela 4 – Estimativas de densidade e incerteza da água.

3.1 – Observando a tabela 4 o grupo consegue identificar padrões dos dados preenchidos?

Conforme foi aumentando a medida de volume da água, a incerteza diminuiu.

Figura 4.31 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 3.0 e 3.1, etapa 2, grupo 1ª (na versão final do guia experimental do aluno é o item 6.1 e 6.2). Resposta transcrita: “Conforme foi aumentando a medida de volume da água, a incerteza diminuiu.”.

Foi pedido aos alunos que preenchessem a tabela com os seguintes dados de cada medida: medida da massa, valor da densidade da água, limite superior da densidade da água, limite inferior da densidade da água e a estimativa da incerteza. Após a montagem da tabela foi perguntado para o grupo quais padrões poderiam ser observados na tabela. Os padrões mais

comuns observados pelos grupos foram: os valores ficarem próximos e a incerteza diminuir enquanto o volume é aumentado.

Em seguida, foram apresentados para os alunos os conceitos de desvio padrão e erro padrão. Após esse momento o professor utilizou os dados que os grupos obtiveram para mostrar, através de uma planilha eletrônica alguns padrões encontrados com os próprios dados dos alunos. Algumas tabelas encontradas, com os dados dos alunos, podem ser vistas nas Tabela 4.1 e 4.3. Os gráficos referentes às tabelas já citadas podem ser vistos nas Figuras 4.32 a 4.34. Nessas figuras estão representados os valores da densidade em relação a n medidas. Para as estimativas de incerteza foram utilizados somente os dados do erro padrão, calculado na planilha eletrônica, por isso para n igual a 1 a incerteza foi considerada como zero, embora a rigor ela seja diferente de zero.

Tabela 4.1 – Utilização dos dados dos alunos para construção da tabela por meio de planilha eletrônica. Etapa 2, grupo 1A.

n	volume (ml)	massa (g)	Valor de Referência (g/ml)	Densidade (ponto) (g/ml)	Densidade (Média ponto + anteriores) (g/ml)	Amplitude (g/ml)	Desvio Padrão (g/ml)	Erro Padrão (g/ml)
1	20	18,6	0,997	0,930	0,930	-	-	-
2	40	41,0	0,997	1,025	0,978	0,095	0,067	0,047
3	60	59,8	0,997	0,997	0,984	0,095	0,049	0,028
4	80	79,0	0,997	0,988	0,985	0,095	0,040	0,020
5	100	98,0	0,997	0,980	0,984	0,095	0,035	0,015

Tabela 4.2 - Utilização dos dados dos alunos para construção da tabela por meio de planilha eletrônica. Etapa 2, grupo 3A.

n	volume (ml)	massa (g)	Valor de Referência (g/ml)	Densidade (ponto) (g/ml)	Densidade (Média ponto + anteriores) (g/ml)	Amplitude (g/ml)	Desvio Padrão (g/ml)	Erro Padrão (g/ml)
1	20	19,9	0,997	0,995	0,995	-	-	-
2	40	41,0	0,997	1,025	1,010	0,030	0,021	0,015
3	60	61,5	0,997	1,025	1,015	0,030	0,017	0,010
4	80	81,0	0,997	1,013	1,014	0,030	0,014	0,007
5	100	100,0	0,997	1,000	1,012	0,030	0,014	0,006

Tabela 4.3 - Utilização dos dados dos alunos para construção da tabela por meio de planilha eletrônica. Etapa 2, grupo 3B.

n	volume (ml)	massa (g)	Valor de Referência (g/ml)	Densidade (ponto) (g/ml)	Densidade (Média ponto + anteriores) (g/ml)	Amplitude (g/ml)	Desvio Padrão (g/ml)	Erro Padrão (g/ml)
1	20	18,0	0,997	0,900	0,900	-	-	-
2	40	40,5	0,997	1,013	0,956	0,113	0,080	0,056
3	60	59,5	0,997	0,992	0,968	0,113	0,060	0,035
4	80	78,5	0,997	0,981	0,971	0,113	0,049	0,025
5	100	99,5	0,997	0,995	0,976	0,113	0,044	0,020

A tabela foi feita no programa de planilha eletrônicas Excel. Nas colunas tinham algumas informações. A letra “n” representava as n medidas feitas pelos alunos, neste caso foram 5 medidas realizadas, preenchendo o copo com 100 ml no total de água. Na coluna volume estão os valores de volume medidos, de 20 ml a 100 ml. Na coluna massa estão as massas encontradas pelos próprios alunos do grupo. O valor de referência corresponde ao valor de referência da densidade da água destilada a uma temperatura e pressão de 25 °C e 1 atm., respectivamente.

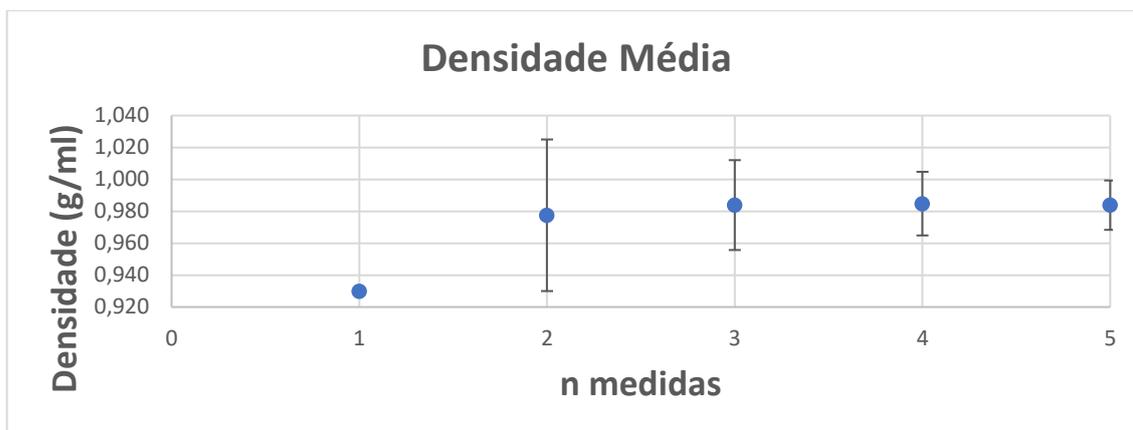


Figura 4.32 - Gráfico com base nos dados dos alunos. Etapa 2, grupo 1A. Utilizando como incerteza os valores do erro padrão.

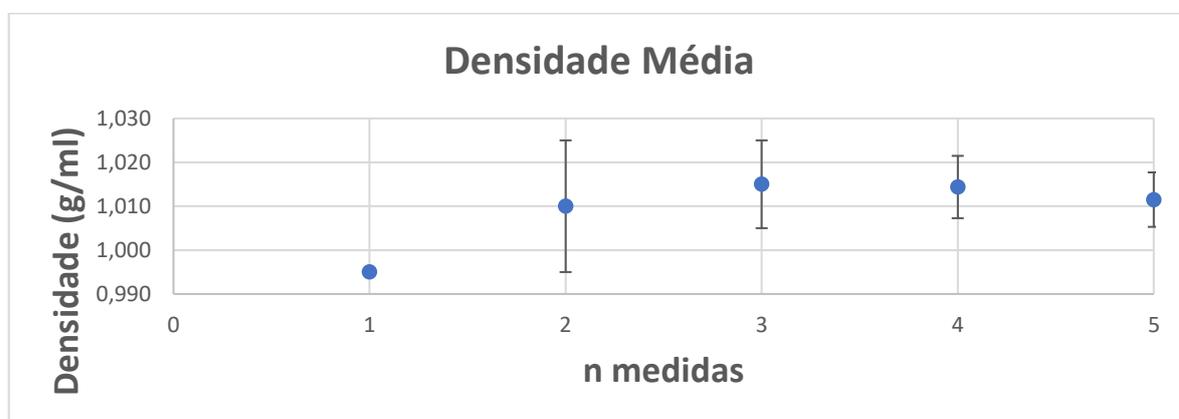


Figura 4.33 - Gráfico com base nos dados dos alunos. Etapa 2, grupo 3A. Utilizando como incerteza os valores do erro padrão.

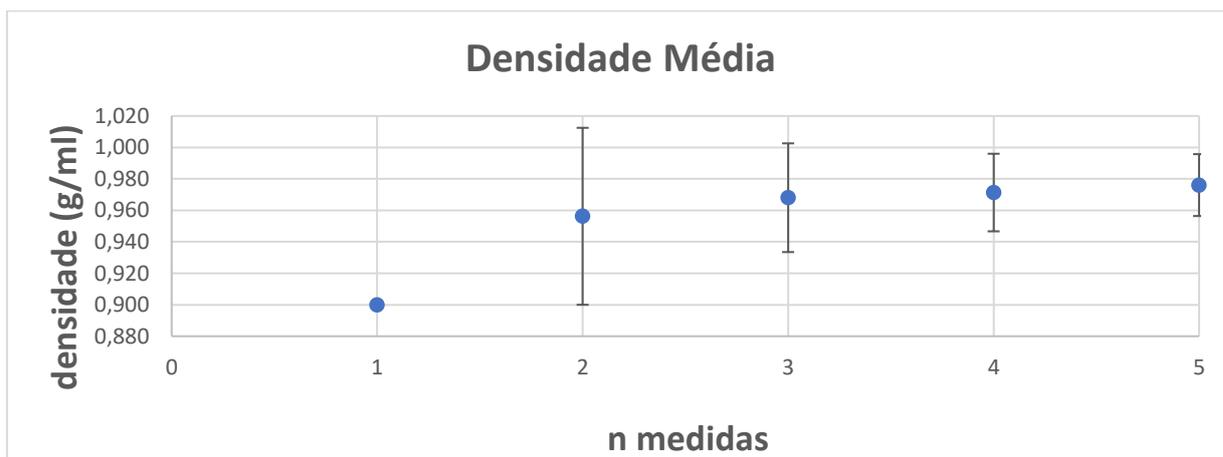


Figura 4.34 - Gráfico com base nos dados dos alunos. Etapa 2, grupo 3B. Utilizando como incerteza os valores do erro padrão.

A coluna “Densidade (ponto)” corresponde a densidade ponto a ponto, ou seja, a densidade feita linha a linha, também encontrada pelos alunos. A coluna “Densidade (Média ponto + anteriores)” corresponde a densidade média feita da linha analisada mais as densidades

das linhas superiores, representando a densidade média do conjunto de dados. Amplitude é a diferença entre o maior valor de densidade menos o menor valor. As outras colunas correspondem ao cálculo do desvio padrão e do erro padrão.

Depois de observada a tabela e os dados analisados pelo gráfico gerado na planilha eletrônica, os grupos responderam quais foram os padrões observados a partir dos dados colocados na planilha. Novamente os alunos estarão fortalecendo conceitos a respeito do nível I do Paradigma de Conjunto Avançado que diz que “a consistência dos conjuntos de dados pode ser julgada por comparação da localização relativa de suas médias em conjunção com suas propagações” (CAMARGO FILHO, LABURÚ, BARROS. 2015), pois estarão respondendo perguntas e tendo que refletir sobre comparação de dados.

Os grupos foram informados que o erro padrão é responsável por avaliar a precisão dos dados. Também entenderam que os valores ficam mais precisos quando o erro padrão diminui. Um grupo comentou que percebeu, graficamente, que todos os valores estão dentro do valor de referência, exceto o primeiro ponto. Seguem nas Figuras 4.35 e 4.36 os comentários dos grupos.

Em seguida é feita uma pergunta que representa um bom ponto de relevância para a distinção entre o PP e o PC. É perguntado se uma medida se torna mais precisa a partir de um único dado analisado ou a partir de um conjunto de dados. Foi possível observar, pelos comentários mostrados nas Figuras 4.37 e 4.38, que os grupos perceberam que quanto maior o conjunto de dados analisados, menor é a incerteza dos dados, ou seja, mais preciso será.

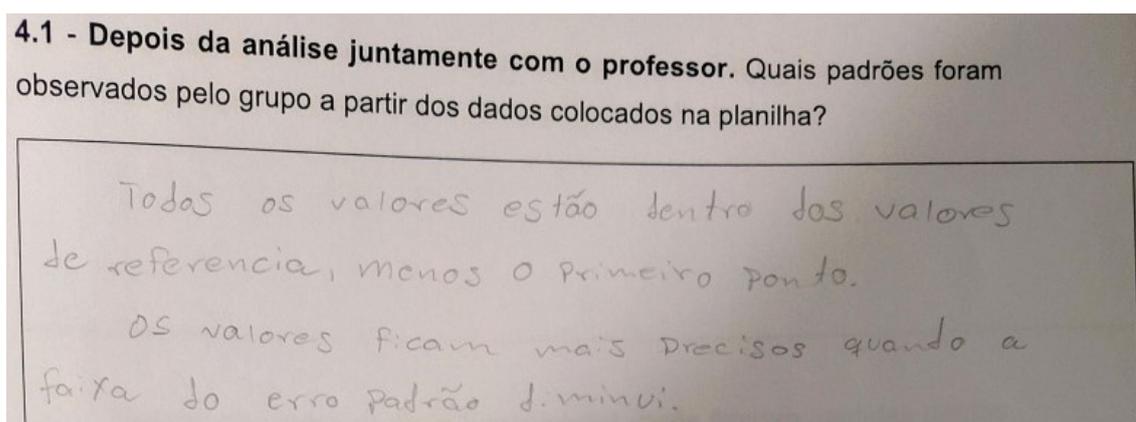


Figura 4.35 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.1, etapa 2, grupo 1^a (na versão final do guia experimental do aluno é o item 7.2). Resposta transcrita: “Todos os valores estão dentro dos valores de referência, menos o primeiro ponto. Os valores ficam mais precisos quando a faixa de erro padrão diminui”.

4.1 - Depois da análise juntamente com o professor. Quais padrões foram observados pelo grupo a partir dos dados colocados na planilha?

Percebemos que o erro padrão responsável por avaliar a precisão dos testes foi menor (maior precisão) no grupo que tem medidas mais diferentes,

Figura 4.36 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.1, etapa 2, grupo 3B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 7.2). Resposta transcrita: “Percebemos que o erro padrão responsável (sic) por avaliar a precisão dos testes foi menor (maior precisão) no grupo que tem medida mais diferentes.”.

4.2 – Uma medida se torna mais precisa a partir de um único dado analisado ou a partir de um conjunto de dados? Justifiquem.

a partir de um conjunto de dados, pois a incerteza fica menor; e porque tem mais valores dentro do conjunto.

Figura 4.37 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.2, etapa 2, grupo 3ª (na versão final do guia experimental do aluno é o item 7.3). Resposta transcrita: “a partir de um conjunto de dados, pois a incerteza fica menor; e porque tem mais valores dentro do conjunto.”.

4.2 – Uma medida se torna mais precisa a partir de um único dado analisado ou a partir de um conjunto de dados? Justifiquem.

É preciso de um conjunto de dados, pois quanto maior o número de medidas mais preciso será o resultado.

Figura 4.38 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.2, etapa 2, grupo 1ª (na versão final do guia experimental do aluno é o item 7.3). Resposta transcrita: “É preciso de um conjunto de dados, pois quanto maior o número de medidas mais preciso será o resultado.”.

Após essa análise foi perguntado se os grupos poderiam afirmar que a densidade da água é constante. A Figura 4.39 mostra a resposta de alguns alunos que afirmam que a densidade da água permanece constante pois “todos os valores estão dentro do intervalo de referência”. Na Figura 4.40 mostra que para este grupo a água não possui densidade constante, somente em condições ideais. O grupo afirma que existem “limitações dos instrumentos de medida”, ou seja, eles entendem que o existe também uma incerteza associada ao instrumento de medida, assim como ao objeto medido que faz com que “os valores variam, não sendo assim constantes”.

4.3 – Observando os dados medidos para essa faixa de volume, é possível afirmar que a densidade da água é constante? Justifiquem.

Sim, pois todos os valores estão dentro do intervalo de referência.

Figura 4.39 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.3, etapa 2, grupo 1ª (na versão final do guia experimental do aluno é o item 7.4). Resposta transcrita: “Sim, pois todos os valores estão dentro do intervalo de referência.”.

A partir desse ponto, os grupos partiram para a parte final do guia experimental onde é feito um resumo e revisão. Foi vista a necessidade de incluir então um resumo para que os alunos pudessem relembrar alguns conceitos aprendidos. Na Figura 4.41 é mostrado um trecho do resumo feito na etapa 8.

4.3 – Observando os dados medidos para essa faixa de volume, é possível afirmar que a densidade da água é constante? Justifiquem.

Essencialmente, a água tem uma densidade constante. Porém, somente em condições ideais. Na realidade, com as limitações dos instrumentos de medida os valores variam, não sendo assim, constantes.

Figura 4.40 - Resposta dos alunos no Guia Experimental ao item 4.3, etapa 2, grupo 3B (na versão final do guia experimental do aluno é o item 7.4). Resposta transcrita: “Essencialmente, a água tem uma densidade constante. Porém, somente em condições ideais. Na realidade, com as limitações dos instrumentos de medida os valores variam, não sendo assim, constantes.”.

A comparação entre os valores medidos e o valor de referência indicam o grau de concordância entre eles, ou seja, a exatidão ou acurácia de uma medida.

a) Precisão	<input type="checkbox"/> É relacionada com a incerteza de um valor medido, obtido por medições repetidas.
b) Exatidão (ou Acurácia)	<input type="checkbox"/> É a comparação entre os valores medidos e o valor de referência, indicando o grau de concordância entre eles.

Esses conceitos relacionados à medição foram necessários para que pudéssemos discutir algumas propriedades de fluidos. Vocês verificaram que densidade da água permaneceu constante para os volumes medidos. Logo, a água se comporta como um líquido incompressível nestes volumes analisados.

Vocês puderam testar e descartar hipóteses a partir dos dados coletados e analisados, uma parte essencial do processo científico.

Figura 4.41 - Parte do resumo feito na etapa 8 do Guia Experimental dos Alunos.

O objetivo desta etapa final é fazer com que os alunos possam observar que em 2 encontros foi possível aprender muitos assuntos e curiosidades sobre noções de medições e densidade de líquidos. Os alunos realizaram coleta de dados experimentais e refletiram acerca dos dados coletados. Puderam também prever e descartar hipóteses. Nesta última etapa do guia experimental os alunos têm a oportunidade de relembrar sobre os assuntos falados ao longo das duas aulas, a fim de fortalecer os ensinamentos adquiridos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação se propôs a desenvolver uma sequência de atividades práticas em forma de guia experimental sobre o assunto da medição. Por meio das atividades desenvolvidas no guia do aluno, foi possível introduzir um primeiro contato dos alunos com as medições de grandezas físicas relacionadas a um experimento. O objetivo dessas atividades realizada com os estudantes é permitir que eles possam evoluir suas ideias relativas ao processo de medição.

Para isso, foram obtidas medidas de densidade com a utilização de diversos medidores de volume (liquidificador, copo medidor, jarra de suco e seringa) e com diferentes líquidos (água, óleo, vinagre e azeite) fáceis de serem adquiridos (a maioria pode ser encontrada em casa). Foram verificadas a precisão e a acurácia dos instrumentos na obtenção da densidade da água. Verificou-se então que nem todos os instrumentos de medida (copo medidor e jarra de suco) resultam em medidas precisas e/ou acuradas. Apesar das medidas realizadas a partir do liquidificador terem resultado em medidas precisas e acuradas, a seringa foi o instrumento de medida desejado na utilização com os alunos, pois resulta em medidas com alta precisão e acurácia utilizando-se pouco volume de líquido. O procedimento experimental foi realizado com o uso de uma balança convencionalmente utilizada em cozinha, modelo SF-400, uma seringa de 20ml e água mineral. O valor de referência adotado para a densidade da água foi de $0,997 \text{ g/cm}^3$ e o resultado obtido para a densidade da água através da seringa foi de $0,995 \pm 0,004 \text{ g/cm}^3$, obtendo assim, um resultado acurado e preciso para a densidade da água utilizando um processo experimental de baixo custo. A vantagem da seringa em relação aos outros recipientes testados deve-se ao fato dela ser utilizada para a administração de medicamentos e, portanto, deve possuir boa acurácia e precisão para evitar super ou subdosagens. Além disso, possibilita medições de menores quantidades de líquidos do que os demais recipientes. Por causa desses aspectos, o uso da seringa foi considerado superior ao dos outros recipientes. Após esse momento, foram feitas medições das densidades de outros líquidos, que também apresentaram resultados que confirmam a precisão e acurácia das medidas.

Logo depois, foi desenvolvido um guia experimental com base nas ideias do Paradigma Pontual (PP) e do Paradigma de Conjunto (PC) de modo que os alunos pudessem progredir nos níveis relacionados a visão dos alunos sobre medição, proposto no artigo do Camargo Filho, Laburú e Barros (2015). As atividades foram propostas e realizadas com uma versão preliminar do guia experimental que foi aplicada em 2 turmas de Ensino Médio, totalizando 16 alunos que participaram da aplicação do guia.

Os resultados encontrados foram baseados nas respostas dos alunos às atividades do guia. Os alunos apresentam inicialmente indícios de que pensam de maneira concernente ao PP, pois acham estranho o fato de ter que medir repetidas vezes, ou até mesmo não entendem como pode em uma medida obter um valor e em outra medida obter um outro valor para um mesmo objeto. A primeira pergunta do guia é referente ao processo de obtenção de valores para a massa de um objeto. Verificou-se pela resposta de um grupo de alunos que eles esperavam que o valor para a massa do objetivo não se modificasse. Percebeu-se então que alguns alunos estavam nos níveis iniciais referente a “visão do estudante sobre o processo de medição”, como proposto no artigo do Camargo Filho, Laburú e Barros (2015). Ou seja, os alunos estavam em um pensamento que tem relação com o PP. No entanto, outros grupos, respondendo a mesma pergunta, entendem que existe uma incerteza na balança, logo, conseguem perceber que existe uma dispersão nos dados, ou seja, tendem a um pensamento de acordo com o PC.

Ao longo do guia os alunos são confrontados com relação ao pensamento pontual e o pensamento de conjunto. Os alunos conseguiram estimar a resolução de medição da balança em cerca de 1g e também perceberam que, apesar deste valor, a balança foi incapaz de detectar a massa de um único copo descartável com cerca de 1,6g (a faixa de medição começava a partir de cerca de 5g). Gradativamente os alunos conseguiram entender como obter medidas e estimativas de incerteza mais adequadas, apesar de dúvidas iniciais na aplicação do guia experimental. Os alunos puderam comparar valores de densidade a partir do preenchimento de tabelas, cálculos e observação de padrões matemáticos referentes aos dados e gráficos, e, portanto, concluíram que “quanto maior o número de medidas mais preciso será o resultado”.

Após a análise dos resultados da aplicação em sala de aula, a versão preliminar do guia do aluno foi reestruturada para a versão atual presente no Apêndice B. Além disso, elaborou-se o guia do professor (Apêndice A) com orientações e detalhes sobre os objetivos de cada atividade proposta.

Observou-se que os alunos se encontravam nos níveis iniciais referente a “visão do estudante sobre o processo de medição”, como proposto no artigo do Camargo Filho, Laburú e Barros (2015), e a partir da aplicação completa do guia os alunos conseguiram entender que uma única medida não é suficiente para representar um valor mais adequado de uma medição, nem que essa única medida é o valor verdadeiro. Ao fim das aulas os alunos ficaram cientes que uma melhor medição se obtém a partir de um conjunto de dados e aprenderam que toda medida deve possuir um valor, uma incerteza e uma unidade de medida. Também foram discutidos assuntos como precisão, acurácia/exatidão, Algarismo significativo, medida direta,

medida indireta, média e análise de dados. Os alunos conseguiram manusear instrumentos de medição, prever e descartar hipóteses sobre um fenômeno físico, analisar padrões gráficos e interpretá-los. Os alunos perceberam que para se obter uma medição mais acurada/exata é necessário possuir uma incerteza menor.

O guia do aluno pode ser utilizado em diferentes realidades dentro do ambiente escolar, ou seja, tanto em um laboratório, quanto em uma sala de aula. Ele foi desenvolvido para ser utilizado com materiais simples, práticos e de baixo custo, com custo total estimado em R\$ 199,00 para o desenvolvimento de 5 kits de material (Apêndice A). Ou seja, com preço médio de R\$ 40,00 por kit de aplicação.

A partir desses resultados existem perspectivas futuras de poder continuar a trabalhar com assuntos relacionados a metrologia e densidade. Alguns conteúdos podem ser expandidos, como por exemplo explorar a densidade de sólidos ou até mesmo outras grandezas físicas como o tempo utilizando cronômetro. Existe a possibilidade de o trabalho ser adaptado para o ensino fundamental e para o ensino superior. No primeiro, modificando a discussão da incerteza por meio de atividades mais lúdicas para os estudantes, no segundo buscando o aprofundamento de questões como ajuste linear, desvio padrão, erro padrão e construção de gráficos.

REFERÊNCIAS

- ANTAS, S. M. V. **Avaliação de parâmetros de qualidade de diferentes marcas de azeite de oliva extravirgem**. Monografia (Curso de Graduação em Farmácia), Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande. Cuité, 2014.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.
- BUFFLER, A.; ALLIE, S.; LUBBEN, F. The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 23, n. 11, p. 1137-1156, 2001.
- CAMARGO 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>
- CID, A. PIZZI, M. LACERDA, T. OLIVEIRA, E. Proposta de Sequência Didática para Hidrostática: Aprendizagem Ativa em Destaque no Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 422-445, 2021.
- HOFSTEIN, A. & LUNETTA, V. The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. **Science Education**, 88, pp. 28-54, 2004. Disponível em: <http://gpquae.iqm.unicamp.br/gtexperimentacao.pdf>. Acesso em: 02 fev 2022.
- INSTITUTO DE FÍSICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **Apostila de Física Experimental I**, 2018.
- JESUS, V. L. B.; PALMA, D. A. Medição da densidade do óleo: uma discussão sobre sua otimização e diminuição dos custos via incerteza relativa da medição. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v.30, n.3, 2008.
- JOURNEAUX, R.; SÉRÉ, M. G. Traitement statistique des incertitudes en physique: problèmes scientifiques et didactiques. **European Journal of Physics**, Bristol, v. 15, n. 6, p. 286-292, 1994.
- KIRSCHNER, PAUL A. Epistemology, Practical Work and Academic Skills in Science Education. **Science & Education** 1, 273-299, 1992.
- LABURÚ, C. E. Seleção de experimentos de física no ensino médio: uma investigação a partir da fala de professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 1-19, 2005.
- LEACH, J. The use of secondary data in teaching about data analysis in a first year undergraduate biochemistry course. In: PSILLOS, D.; NIEDDERER, H. (Ed.). **Teaching and learning in the science laboratory**: a book based on the European project Labwork in Science Education co-ordinated by Marie-Geneviève Séré. New York: Kluwer, 2002. p. 165-178.
- LIDE, D. R (ed.). **Handbook of Chemistry and Physics**, 84th Edition, CRC Press Ltd., 2004.
- LUBBEN, F.; MILLAR, R. Children's ideas about the reliability of experimental data, **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 18, n. 8, p. 955-968, 1996.
- MASNICK, AMY & KLAHR, DAVID. Error Matters: An Initial Exploration of Elementary School Children's Understanding of Experimental Error. **Journal of Cognition and Development** - J COGN DEV. VL: 4. DO: 67-98. 10.1207/S15327647JCD4,1-03, 2003.

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

MILLAR, R. Towards a role for experiment in the science teaching laboratory. **Studies in Science Education**, Abingdon, v. 14, n. 1, p. 109-118, 1987.

MONTANHEIRO, M. Determinação da densidade de sólidos e líquidos pelo princípio de Arquimedes. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 7, n. 2, 1990.

NOUREDDINI, H.; TEOH, B. C.; CLEMENTS, L. C. Densities of Vegetable Oils and Fatty Acids. **Journal of American Oil Chemists Society**, v.69, n.12, p.1184-1188, 1992.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés **Curso de física básica, 2: fluidos, oscilações e ondas, calor** - 5. ed. - São Paulo: Blucher, 2014.

OLIVEIRA, B M.; MELO FILHO, J. M.; AFONSO, J.; A densidade e a evolução do densímetro (Density and the evolution of the densitometer). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 1601, 2013.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. **Características analíticas de vinagres comerciais de vinhos brasileiros**. Brazilian Journal of Food Technology, v. 1, n.1-2, p.25-31, 1998.

SÉRÉ, M-G. Towards renewed research questions from the outcomes of the European Project Labwork in Science Education. **Science Education**, Hoboken, v. 86, n. 5, p. 624-644, 2002.

SILVA, W. R. F.; FONSECA, J. M. Utilizando uma balança digital de baixo custo como densímetro e sua aplicação a sólidos e líquidos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.42, e20200364, 2021.

STEFFENS, C. A. **Um olhar sobre medidas em física**. Porto Alegre, 2008. 353 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Física. Porto Alegre, 2008.

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.

THOMAZ, M. F. A experimentação e a formação de professores de ciências: uma reflexão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.17, n.3, 2000.

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.

WELZEL, M. et al. **Teachers' objectives for labwork**: research tool and cross country results. Brussels: European Commission, 1998. (Working paper, 6). Disponível em: <http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1998-LSE-WP6.pdf>. Acesso em: 02 fev 2022.

APÊNDICE A – GUIA DO PROFESSOR



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	83
2. Guia Experimental Parte I	84
2.1. ETAPA 1 – Introdução à leitura de instrumentos digitais e medidas diretas	84
2.2. ETAPA 2 – Faixa de medida do instrumento de	85
2.3. ETAPA 3 – Introdução à leitura de instrumentos analógicos e medidas indiretas	87
3. Guia Experimental Parte II	87
3.1. ETAPA 4 – Controle de variáveis e Teste de hipóteses	88
3.2. ETAPA 5 – Medidas de densidade da água em função do volume	88
3.3. ETAPA 6 – Organização e tratamento dos dados	89
3.4. ETAPA 7 – Interpretação de dados	89
3.5. ETAPA 8 – Conclusão	91
Referências	92
Sugestão de leitura	92
Apêndice A – Medida indireta de massa do copo descartável	93
Apêndice B – Estimativa de custo dos materiais utilizados	95

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.

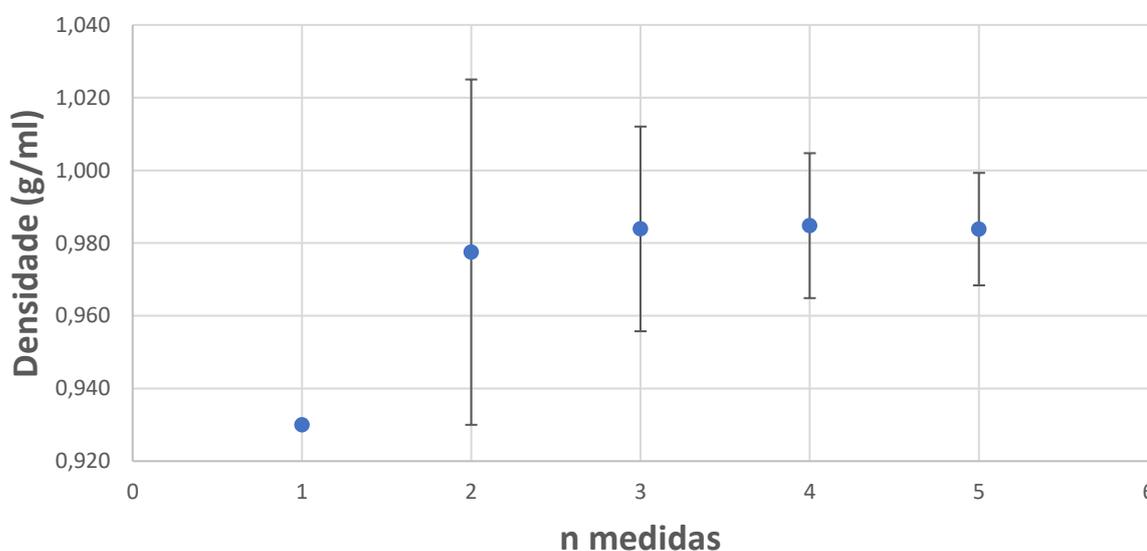


Figura 1 - Gráfico do valor da densidade da água em função do número de medidas

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 de 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.

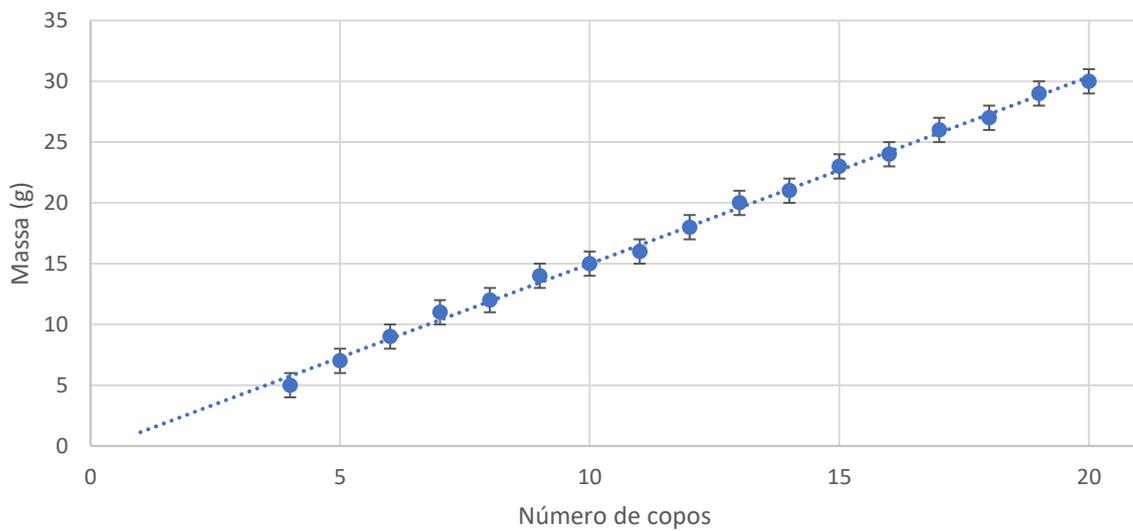


Figura A.1: Relação do número de copos plásticos com a massa obtida na leitura da balança modelo.

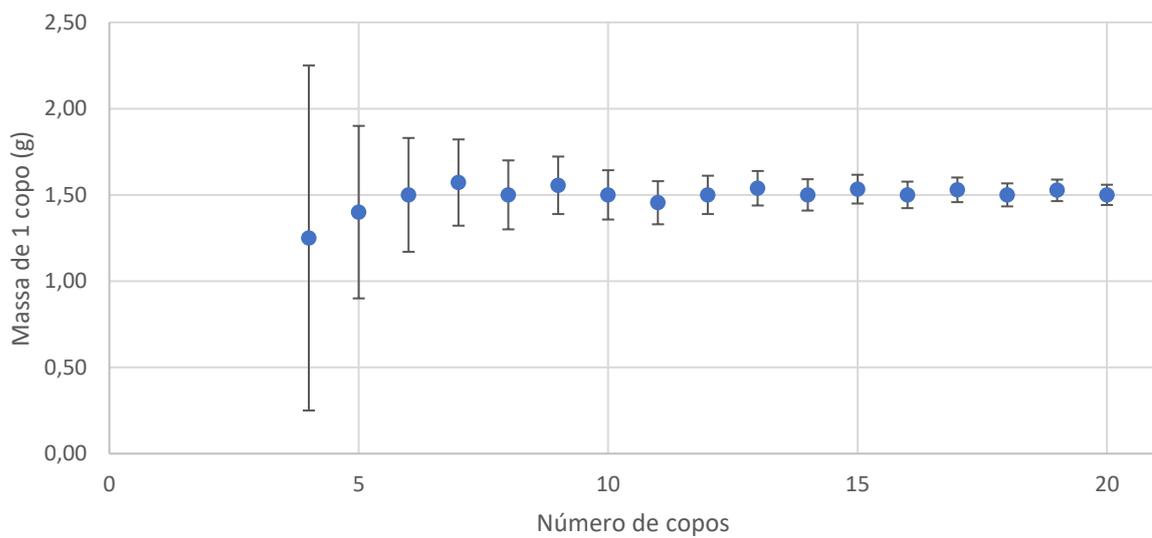


Figura A.2: Estimativa da massa de 1 copo descartável em função do número de copos medidos.

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.

APÊNDICE B – GUIA DO ALUNO



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 Aluno)

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

Guia Experimental do Aluno - Parte I

Caros alunos, este guia experimental tem o objetivo conduzir vocês em atividades de medição para que possam começar a desenvolver algumas habilidades relacionadas às práticas de laboratório. As atividades devem ser realizadas em grupos de até 5 alunos.

Materiais necessários para o experimento:

- ✓ **Balança digital;**
- ✓ **Seringa de 20 ml;**
- ✓ **20 copos descartáveis de 200 ml;**
- ✓ **Uma garrafa de plástico (aproximadamente 250 ml);**
- ✓ **Óleo de soja (aproximadamente 200 ml);**
- ✓ **Água (aproximadamente 200 ml);**
- ✓ **Calculadora;**

Na Tabela 1, escrevam seus nomes ao lado de cada número abaixo, estes números serão utilizados ao longo do Guia Experimental.

Tabela 1 – Nomes dos alunos.

Aluno	Nome:
1	
2	
3	
4	
5	

ETAPA 1

1.1 - Em um primeiro momento peguem a garrafa de plástico e encham-na por completo com água. Peguem a balança digital e a posicionem sobre uma superfície plana e horizontal. Cada integrante do grupo (um de cada vez) deve colocar a garrafa sobre a balança e registrar na tabela 2 o valor de massa encontrada em cada uma das medições na leitura da balança. Vamos a partir de agora considerar o termo “leitura” como o número que aparece no visor da balança.

Tabela 2 – Leitura de massa da garrafa.

Garrafa com água	
Aluno	Massa (g)
1	
2	
3	
4	
5	

1.2 - Após realizar as medições discuta em grupo. As massas obtidas apresentaram valores diferentes umas das outras? Se sim, por que isso aconteceu?

1.3 – Compare a resposta do item **1.2** do seu grupo com a resposta do mesmo item de outro grupo. Os grupos pensaram a mesma coisa? Discutam entre si as justificativas para suas respostas.

Baseando-se nas observações feitas no item anterior, percebe-se que medidas experimentais podem variar em torno de um valor; esta variabilidade de valores está associada à ideia de **incerteza de medição**. Neste caso, pode-se propor que um **valor razoável** para a massa da garrafa seja a **média** dos valores medidos e uma estimativa da **incerteza (σ_i)** associada a essa medida, pode ser realizada da seguinte forma:

$$\text{ESTIMATIVA DA INCERTEZA} = \frac{\text{VALOR MÁXIMO} - \text{VALOR MÍNIMO}}{2}$$

Observação: Toda medida experimental deve conter um **valor**, sua **incerteza** e a **unidade de medida**. Exemplo:

$$\text{massa} = 2,5 \pm 0,8 \text{ g}$$

A estimativa do valor da massa também pode ser compreendida na forma de um conjunto de valores. O valor de **massa = 2,5 ± 0,8 g** pode ser representado como sendo **massa = [1,7 ; 3,3] g**. Ou seja, o valor desta massa está compreendido entre 1,7 g e 3,3 g.

1.4 - Obtenham uma estimativa para o valor da massa da garrafa com água. Usem os valores de massa registrados por vocês na tabela 2.

ETAPA 2

2.1 - Peguem um copo descartável. Cada integrante do grupo deve colocar o copo descartável vazio sobre a balança e registrar, na tabela 3, o valor de massa encontrada na leitura da balança.

Tabela 3 – Medida de massa do copo vazio.

Copo Vazio	
Aluno	Massa (g)
1	
2	
3	
4	
5	

2.2 - Discutam sobre o resultado encontrado e anatem as conclusões.

É válido o grupo pensar que de fato o copo tem massa, pois sobre ele é exercida uma força peso. Um dos indícios de que sobre um corpo é aplicada uma força peso é o fato de que se elevarmos o copo e soltarmos no ar ele certamente cairá.

Por isso, se a massa do copo não pode ser zero, precisamos determinar uma maneira de estimar a massa do copo. A seguir iremos criar um procedimento para fazer essa estimativa.

2.3 – Peguem 20 copos descartáveis de 200 ml. Coloquem os copos uns sobre os outros, fazendo assim, uma pilha de copos. Cada aluno irá posicionar os copos sobre a balança e registrar um a um os valores de massa encontrada na leitura da tabela 4.

Tabela 4 – Leituras de massa com 20 copos.

Pilha de copos vazio	
Aluno	Massa (g)
1	
1	
2	
2	
3	
3	
4	
4	
5	
5	

2.3.1 - Qual foi o maior valor de massa encontrada?

2.3.2 - Qual foi o menor valor de massa encontrada?

2.3.3 - Obtenha uma estimativa para o valor da massa dos 20 copos.

O valor encontrado acima foi o valor da massa dos 20 copos descartáveis juntos. Considerando que todos os copos são perfeitamente iguais e possuem a mesma massa, pode-se estimar o valor da massa de um único copo. Nesse caso, para encontrar o valor da massa de apenas 1 copo, pega-se o valor e divide-se por 20, assim como a incerteza encontrada será dividida por 20.

2.3.4 - Estimem a massa de apenas 1 copo, juntamente com sua incerteza.

--

ETAPA 3

3.1 - Agora peguem a seringa e dois copos descartáveis. Um copo deve ser preenchido com água e o outro copo deve ser preenchido com óleo de soja. Preencham cada um dos copos, com um auxílio da seringa, até um volume de 60 ml, garantindo que o volume nos dois copos seja igual.

3.2 - Façam medidas do sistema do copo com água e também do sistema copo com óleo. Preencham a tabela 5 com as informações coletadas.

Tabela 5 – Leitura de massa do copo com água e copo com óleo.

Copo com água	
Aluno	Massa (g)
1	
2	
3	
4	
5	

Copo com óleo	
Aluno	Massa (g)
1	
2	
3	
4	
5	

Estimem o valor da massa do copo com água e do copo com óleo e suas respectivas incertezas.

3.3 - Qual sistema registrou maior massa, copo com água ou copo com óleo?

3.4 - Prevejam o que acontecerá se despejarmos lentamente os dois líquidos em um único recipiente: qual líquido ficaria em cima e qual ficaria em baixo? Por quê?

3.5 - Agora, peguem o copo com água e despejem lentamente a água no outro copo contendo óleo.

3.5.1 - Após alguns segundos como ficou a configuração final dos dois líquidos em um mesmo copo? O fenômeno observado está de acordo com a previsão que o grupo fez no item **3.4**?

Neste momento é importante ser apresentada a definição de **densidade (d)**, que é uma grandeza física que está relacionado com a massa de um corpo (m) e o volume (V) que este corpo possui.

$$d = \frac{m}{V}$$

A unidade de medida da densidade usada será $\frac{g}{ml}$. O cálculo da incerteza da densidade pode ser feito da maneira a seguir.

a) Realizar uma estimativa do **limite superior** da densidade.

$$\text{Limite superior} = \frac{\text{maior valor medido de massa}}{\text{menor valor medido de volume}}$$

b) Realizar uma estimativa do **limite inferior** da densidade.

$$\text{Limite inferior} = \frac{\text{menor valor medido da massa}}{\text{maior valor medido do volume}}$$

Segue abaixo um exemplo de como estimar a incerteza da densidade de um líquido, a partir de medidas de massa e de volume.

$$\begin{aligned} \text{massa} &= 102 \pm 4 \text{ g} \\ \text{volume} &= 99,0 \pm 0,5 \text{ ml} \end{aligned}$$

Tabela 6 – Medidas do limite superior e inferior de um exemplo sobre densidade.

	Maior valor medido	Menor valor medido
Massa	106	98
Volume	99,5	98,5

$$\text{Limite superior da densidade} = 106/98,5 = 1,08 \frac{g}{ml}$$

$$\text{Limite inferior da densidade} = 98/99,5 = 0,98 \frac{g}{ml}$$

c) Para estimar a incerteza da densidade

$$\text{incerteza} = \frac{\text{limite superior} - \text{limite inferior}}{2}$$

Então, nesse caso:

$$\text{incerteza} = \frac{1,08 - 0,98}{2} \rightarrow \text{incerteza} = 0,05 \frac{g}{ml}$$

Observação: A incerteza do volume pode ser estimada com o seguinte pensamento. Imaginem que uma medida foi realizada e o seu volume está representado pelo ponto registrado na figura 1.

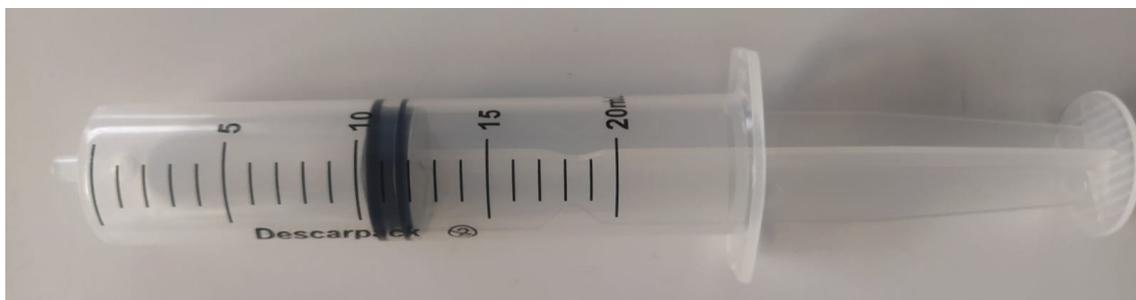


Figura 1 – A leitura da seringa está entre 10 ml e 11 ml e o valor medido deve ser estimado considerando as subdivisões da escala.

Na seringa de 20 ml representada na figura 1 cada divisão da seringa representa 1 ml. Neste caso a leitura da seringa não coincide com nenhuma das marcações na escala. O valor pode estar entre 10 ml e 11 ml, ou seja, existe erro de leitura ou julgamento do observador quanto à estimativa. Para este caso podemos estimar a incerteza como sendo a metade da menor divisão da seringa, ou seja 0,5 ml.

$$\Delta v = \frac{1 \text{ ml}}{2} \rightarrow \Delta v = 0,5 \text{ ml}$$

Para apenas uma medição com a seringa será utilizado 0,5 ml para a estimativa de incerteza. Porém a cada nova medida é necessário saber a nova incerteza associada a esta medição. Para isso existe uma relação de estimativa de incerteza, representada na equação 1.

$$i_c = \sqrt{i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_N^2} \text{ equação (1).}$$

Onde, i_c é a incerteza combinada e i_N são as incertezas associada aos dados experimentais das N medidas. Na tabela 7 encontram-se os valores das incertezas que deverão ser utilizadas para o volume a partir deste ponto do guia.

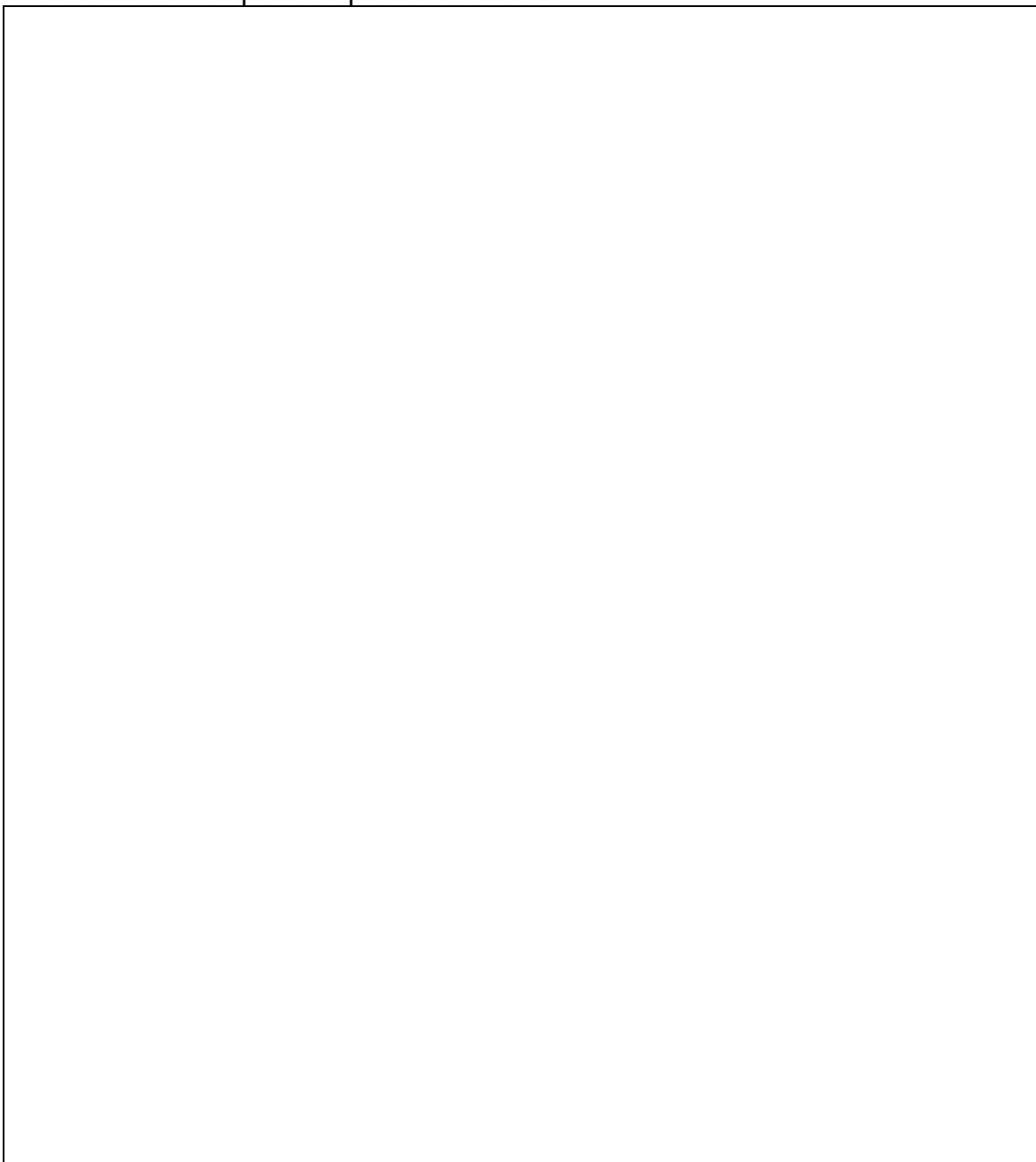
Tabela 7 – Valores para a incerteza do volume com seringa.

Número de medidas com a seringa	Estimativa de incerteza (ml)
1	0,5
2	0,7
3	0,9
4	1,0
5	1,1

Com essas informações, o grupo já consegue estimar o valor da densidade da água e do óleo.

3.6 - Estimem o valor da densidade e da incerteza dos líquidos água e óleo com os dados preenchidos na tabela 5. Qual dos líquidos possui maior densidade?

Observação: É necessário descontar o valor da massa do copo para poder calcular a densidade dos líquidos aqui mencionados.

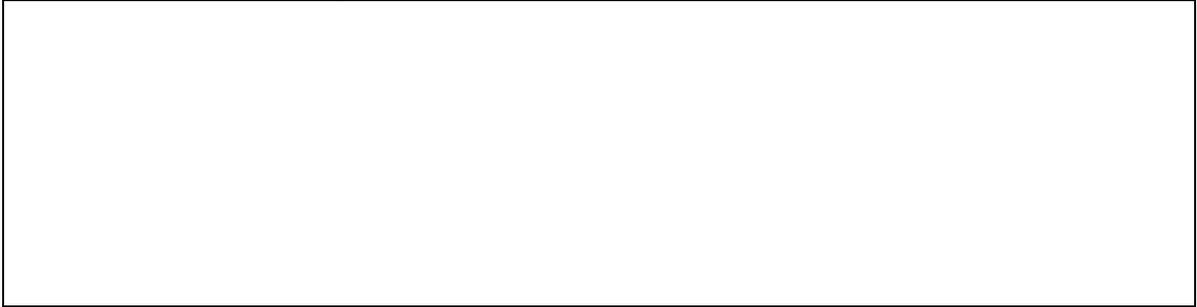


No item **3.5.1** o grupo observou como ficou a configuração água e óleo no copo. Então pode-se pensar em dois casos diferentes:

HIPÓTESE A: O líquido que ficou na parte de baixo do copo possui uma massa maior que o líquido que ficou na parte de cima.

HIPÓTESE B: O líquido que ficou na parte de baixo do copo possui uma densidade maior que o líquido que ficou na parte de cima.

3.7 - É possível descartar alguma das duas hipóteses acima com os dados obtidos até o momento? Justifiquem.



Reflitam sobre como poderíamos testar estas hipóteses. Continuaremos esta atividade na próxima aula.

Guia Experimental do Aluno - Parte II

Caros alunos, esta é a parte II do guia experimental. Os grupos serão os mesmos do último encontro. O encontro dessa semana tem por objetivo chegar a uma conclusão sobre as hipóteses feitas no último encontro. Vocês vão obter dados experimentais por meio da utilização da seringa e da balança como instrumentos de medida. Além disso, poderão compreender melhor sobre a relação entre a estimativa de incerteza e precisão.

Segue a lista de materiais necessários:

- ✓ **Balança digital;**
- ✓ **Seringa de 20 ml;**
- ✓ **Copos descartáveis de 200 ml;**
- ✓ **Óleo de soja (aproximadamente 200 ml);**
- ✓ **Água (aproximadamente 200 ml);**
- ✓ **Calculadora;**

ETAPA 4

Na última aula, observamos um fenômeno e foram apresentadas duas hipóteses para explicá-lo:

HIPÓTESE A: O líquido que ficou na parte de baixo do copo possui uma massa maior que o líquido que ficou na parte de cima.

HIPÓTESE B: O líquido que ficou na parte de baixo do copo possui uma densidade maior que o líquido que ficou na parte de cima.

Na Ciência, as hipóteses nunca podem ser confirmadas apenas rejeitadas (ou descartadas). Para o progresso científico, é sempre desejável descartar hipóteses de maneira a ficar com apenas uma hipótese plausível que sustente os resultados experimentais.

4.1 – Pensem em alguma proposta ou ideia experimental a fim de descartar a hipótese A ou a hipótese B. Registrem abaixo o resultado da discussão do grupo.

Discuta com o professor e com os outros grupos as ideias registradas no item **4.1**.

4.2 – Nesse momento serão realizadas novas medidas da massa de água e da massa de óleo, porém agora com volumes diferentes. Peguem dois copos plásticos descartáveis. Preencham um copo com 30 ml de água com o auxílio da seringa. No outro copo preencham com 60 ml de óleo, também utilizando a seringa.

4.2.1 - Estimem a massa do copo com água e a massa do copo com óleo utilizando a balança e registrem na tabela 8.

Tabela 8 – Leitura de massa do copo com água e copo com óleo.

Copo com água	
Aluno	Massa (g)
1	
2	
3	
4	
5	

Copo com óleo	
Aluno	Massa (g)
1	
2	
3	
4	
5	

--

4.2.2 - Qual sistema possui maior massa, copo com água ou copo com óleo?

4.2.3 - Calculem a densidade dos líquidos água e óleo com os dados preenchidos na tabela 7. Qual possui maior densidade?

Observação: Lembrem-se de descontar a massa do copo descartável, encontrado no item **2.3.4** do Guia Experimental **Parte I**.

4.3 - Prevejam o que acontecerá se despejarmos lentamente os dois líquidos em um único recipiente, qual líquido ficaria em cima e qual ficaria em baixo? Por quê?

4.4 - Agora, peguem o copo com água e despejem lentamente a água no outro copo contendo óleo.

4.4.1 - Após uns instantes como ficou a configuração final dos dois líquidos em um mesmo copo? Ela é igual à do item **3.5.1** quando os volumes eram iguais, feito no Guia Experimental **Parte I**?

Depois de finalizada esta etapa podemos retornar às hipóteses A e B feitas anteriormente.

HIPÓTESE A: O líquido que ficou na parte de baixo do copo possui uma massa maior que o líquido que ficou na parte de cima.

HIPÓTESE B: O líquido que ficou na parte de baixo do copo possui uma densidade maior que o líquido que ficou na parte de cima.

4.4.2 - A partir dos resultados obtidos, é possível descartar alguma das hipóteses? Justifiquem.

4.5 - Comparem os valores medidos para a densidade da água dos itens **3.6** (Guia Experimental **Parte I**) e **4.2.3** (Guia Experimental **Parte II**).

Tabela 9 – Comparação entre densidade da água com volumes diferentes.

Densidade de 60 ml de água	Densidade de 30 ml de água

4.5.1 – O que é possível afirmar sobre a densidade da água a partir da tabela 9?

ETAPA 5

5.1 - Peguem a balança e posicionem ela em uma superfície plana e horizontal. Em seguida coloquem o copo plástico descartável com água sobre a balança. Preencham a tabela 10 fazendo, para cada um dos valores de volume presentes na tabela 10, 5 medidas da massa da água e estimando o seu valor e sua incerteza. Lembrem-se de descontar a massa do copo encontrada no item 2.1.4 no **Guia Experimental Parte I**.

Tabela 10 – Valores medidos de volume e massa de água.

Volume da Água (ml)	Leituras da Massa da Água (g)	Medida da Massa da Água (g)
20,0 ± 0,5	• • • • •	
40,0 ± 0,8	• • • • •	
60,0 ± 1,0	• • • • •	
80,0 ± 1,2	• • • • •	
100,0 ± 1,5	• • • • •	

A partir destes dados coletados é possível obter a densidade da água.

ETAPA 6

6.1 - Tendo como referência os dados da tabela 10 **calculem a densidade da água para cada linha** e preencham a tabela 11. Qualquer dúvida no cálculo da densidade e sua incerteza o grupo poderá lembrar através das páginas 7 e 8 do Guia Experimental Parte 1.

--

Observação: Não esqueçam que toda medida tem valor, incerteza e unidade de medida.

Tabela 11 – Estimativas de densidade e incerteza da água.

Medida de Volume da Água (ml)	Medida de Massa da Água (g)	Valor da Densidade da Água (g/ml)	Limite Superior da Densidade (g/ml)	Limite Inferior da Densidade (g/ml)	Estimativa da incerteza (g/ml)
20,0 ± 0,5					
40,0 ± 0,7					
60,0 ± 0,9					
80,0 ± 1,0					
100,0 ± 1,1					

6.2 – Observando a tabela 11 o grupo consegue identificar padrões dos dados preenchidos? Justifique.

6.3 – Compare com outro grupo os padrões observados na tabela 11.

ETAPA 7

Até agora utilizamos um método que superestima as incertezas experimentais. A diferença entre o maior e o menor valor se chama **amplitude** e até o momento utilizou-se a metade da amplitude como estimativa simplificada de incerteza.

7.1 - A partir daqui o professor utilizará os dados que o grupo obteve para mostrar, através de uma planilha eletrônica alguns padrões encontrados. Todos os grupos quando chegarem neste item devem parar e esperar os demais para seguirem juntos com o professor.

A metade da amplitude de medida é uma estimativa grosseira da incerteza pois utiliza apenas os dois valores extremos, porém é possível obter estimativas com incertezas menores, por meio da utilização de todos os pontos medidos no conjunto de dados. Existem outras formas de se obter uma melhor estimativa para a incerteza e que levam em consideração todo o conjunto de dados. Verifique com seu professor algumas dessas formas.

7.2 - Depois da análise juntamente com o professor. Quais padrões foram observados pelo grupo a partir dos dados colocados na planilha?

7.3 – O valor medido de uma grandeza se torna mais preciso a partir de um único dado analisado ou a partir de um conjunto de dados? Justifiquem.

7.4 – Observando os dados medidos para essa faixa de volume, é possível afirmar que a densidade da água é constante? Justifiquem.

7.5 – Se a resposta ao item **7.4** foi positiva, qual foi o valor encontrado para a densidade da água? Se a resposta for negativa, justifiquem.

ETAPA 8

Nessas atividades do Guia Experimental parte I e II, vocês tiveram contato com alguns pontos importantes para o raciocínio científico e para o desenvolvimento de práticas experimentais relacionadas ao processo de medição.

Nessas atividades do Guia Experimental foi visto que toda medida deve ser representada através de um **valor**, uma **incerteza** e **unidade de medida**. Foi reforçada a importância do uso correto dos algarismos significativos na representação dos valores e das incertezas.

Nessas atividades do Guia Experimental, vocês fizeram medidas diretas e medidas indiretas. Associe a seguir a definição sobre o que é medida direta e medida indireta.

a) Medidas diretas são	() medições feitas a partir da relação matemática entre uma ou mais grandezas
b) Medidas indiretas são	() medidas feitas a partir da leitura de um instrumento de medição e envolve apenas uma grandeza.

A partir dessas medidas, vocês puderam estimar as incertezas experimentais seja pela resolução do instrumento de medida ou pela variabilidade do conjunto dos dados experimentais. Essas incertezas estão associadas à precisão de uma medida, ou seja, quanto menor a incerteza mais precisa é a medida. Também foram analisadas as incertezas absolutas e as incertezas relativas do conjunto de dados.

A comparação entre os valores medidos e o valor de referência indicam o grau de concordância entre eles, ou seja, a exatidão ou acurácia de uma medida.

a) Precisão	() É relacionada com a incerteza de um valor medido, obtido por medições repetidas.
b) Exatidão (ou Acurácia)	() É a comparação entre os valores medidos e o valor de referência, indicando o grau de concordância entre eles.

Esses conceitos relacionados à medição foram necessários para que pudéssemos investigar propriedades de alguns fluidos. Vocês verificaram que densidade da água permaneceu constante para os volumes medidos. Logo, a água se comporta como um líquido incompressível nestes volumes analisados.

Vocês puderam testar e descartar hipóteses a partir dos dados coletados e analisados, uma parte essencial do processo científico.

Espero que tenham gostado e aproveitado o aprendizado adquirido com esta atividade experimental.