



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANA CLAUDIA FORÇA

**ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA O AUMENTO DE ACURÁCIA
DAS MEDIDAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO MÉDIO**

ANA CLAUDIA FORÇA

**ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA O AUMENTO DE ACURÁCIA
DAS MEDIDAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú
Co-Orientador: Dr. Osmar Henrique Moura da
Silva

Londrina

2012

ANA CLAUDIA FORÇA

**ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA O AUMENTO DE ACURÁCIA
DAS MEDIDAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú
Universidade Estadual de Londrina

Profa. Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa
Universidade de Passo Fundo

Prof. Dr. Alcides Goya
Universidade Federal Tecnológica do Paraná
Campus Londrina

Londrina, 28 de junho de 2012.

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca
Central da Universidade Estadual de Londrina**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

F692e Força, Ana Claudia.

Estratégia de ensino para o aumento de acurácia das medidas experimentais no ensino médio / Ana Claudia Força. – Londrina, 2012.

121 f

Orientador: Carlos Eduardo Laburú.

Co-orientador: Osmar Henrique Moura da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2012.

Inclui bibliografia.

1. Física – Estudo e ensino – Teses. 2. Física – Atividades experimentais – Teses. 3. Física (Ensino médio) – Teses. 4. Física – Aprendizagem experimental – Teses. I. Laburú, Carlos Eduardo. II. Silva, Osmar Henrique Moura da. III. Universidade Estadual de Londrina. Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática IV. Título.

CDU 53:37.02

A Deus pela dádiva da vida. Meu rochedo,
escudo e fortaleza.

À minha Mãe Ida Tereza, pelo incentivo,
paciência e dedicação incondicional ao
longo da jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Orientador Dr. Carlos Eduardo Laburú pela colaboração, entendimento e confiança em mim depositada desde o início.

Ao Co-orientador Dr. Osmar Henrique de Moura Silva pelas explicações e dedicação a este trabalho.

Aos professores que participaram da comissão examinadora, Professora Dra. Cleci Terezinha Werner da Rosa e Professor Dr. Alcides Goya, pela colaboração proporcionando o aprimoramento deste trabalho.

À minha Mãe Ida Tereza fonte da minha inspiração e dedicação aos estudos, ao meu Pai Valcir (em memória) que viu o início, mas não teve tempo de prestigiar o final desta caminhada, às minhas irmãs Elza e Adriana pelo incentivo permanente, aos meus cunhados Wilson e Gilberto e aos meus sobrinhos Thiago, Murilo e Lucas.

À Diretora, aos Professores e aos Funcionários do Colégio Estadual Tereza Cristina, pela compreensão, colaboração, valorização e incentivo nos momentos cruciais desta jornada.

Aos amigos adquiridos ao longo de todo o curso, cada qual com sua especificidade e importância nos momentos de desabafos e alegrias.

A todos os amigos que ouviram muitos “nãos” aos convites de jantares, passeios e festas, entendendo a fase árdua por que passava.

Aos meus alunos, fonte inspiradora do meu constante interesse pelo saber.

A todas as pessoas que passaram e às que permanecem em minha vida recarregando as energias para a retomada.

Aos amigos Adriana Ribeiro, Andréia de Freitas Zômpero, Elisa Barbosa Estevão, Mariana Fernandes da Silva, Mariana Nardy, Patrícia O. R. da Silva, Paulo Sérgio Camargo Filho e Wanda N. C. Salvadego, integrantes do Grupo de Estudo do Professor Dr. Carlos Eduardo Laburú, pelas intervenções, ideias e sugestões que fazem parte deste trabalho.

E a Deus, minha fortaleza, pela proteção durante todas as viagens, quilômetros incontáveis, horas de estrada, desafios pelo caminho, me livrando dos contratemplos para que pudesse cumprir todos os compromissos agendados.

Meus amigos merecem

*"Meus amigos são todos assim: metade loucura, outra metade santidade.
Escolho-os não pela pele, mas pela pupila, que tem brilho questionador e tonalidade inquietante.
Fico com aqueles que fazem de mim louco e santo.
Deles não quero a resposta, quero meu avesso.
Que me tragam dúvidas e angústias e aguentem o que há de pior em mim.
Para isso, só sendo louco.
Louco que senta e espera a chegada da lua cheia.
Quero-os santos, para que não duvidem das diferenças e peçam perdão pelas injustiças.
Escolho meus amigos pela cara lavada e pela alma exposta.
Não quero só ombro ou o colo, quero também sua maior alegria.
Amigo que não ri junto, não sabe sofrer junto. [...].
[...] Meus amigos são todos assim: metade bobeira, metade seriedade.
Não quero risos previsíveis, nem choros piedosos.
Pena, não tenho nem de mim mesmo, e risada, só ofereço ao acaso.
Quero amigos sérios, daqueles que fazem da realidade sua fonte de aprendizagem, mas lutam para que a fantasia não desapareça.
Não quero amigos adultos, nem chatos.
Quero-os metade infância metade velhice.
Crianças, para que não esqueçam o valor do vento no rosto, e velhos, para que nunca tenham pressa.
Tenho amigos para saber quem sou, pois vendo-os loucos e santos, bobos e sérios, crianças e velhos, nunca me esquecerei de que a normalidade é uma ilusão imbecil e estéril".*

Fernando Pessoa

FORÇA, Ana Claudia. **Estratégia de ensino para o aumento de acurácia das medidas experimentais no ensino médio**. 2012. 121 fls. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

RESUMO

As atividades experimentais em Física, tanto quantitativas quanto qualitativas, constituem importante ferramenta educacional quando estruturadas em bases educacionais e epistemológicas claras, devidamente conduzidas. Pesquisas acerca de atividades experimentais que abordam medições apontam que alunos, seja do ensino médio, seja do universitário, carregam interpretações a respeito de medidas que são condizentes com o Paradigma Pontual e podem comprometer momentos de instruções pedagógicas. O presente trabalho, portanto, tem o objetivo de investigar uma estratégia de ensino inspirada na proposta de Millar (1987) em que alunos que conhecem de antemão o resultado da medida a ser encontrada experimentalmente a obtém com melhor acurácia do que alunos que a desconhecem. Para isso, sessenta alunos do primeiro ano do ensino médio de um colégio estadual, do município de Colorado-PR, realizaram duas atividades experimentais. Ao final, verificou-se que os alunos submetidos à estratégia investigada obtiveram medidas com melhor acurácia que os alunos não submetidos a ela, assim como apresentaram um conjunto de comportamentos e atitudes que confirmam as hipóteses do trabalho. Essa estratégia propicia a discussão relativamente a flutuações, incertezas e médias, ideias que se ajustam ao Paradigma de Conjunto. Por conseguinte, a estratégia em questão contribui de maneira positiva na construção do conceito de medição por parte dos estudantes.

Palavras-chave: Medidas, Ensino de Física, Atividades Experimentais.

FORÇA, Ana Claudia. **Teaching strategy for increasing accuracy of experimental measures in high school**. 2012. 121 fls. Thesis (Master's Degree in Teaching of Sciences and Mathematical Education) - State University of Londrina, Londrina, 2012.

ABSTRACT

This study therefore aims to investigate a teaching strategy inspired by Millar's proposal, in which students know beforehand the result of the measure to be found experimentally present behaviors more consistent with the set paradigm. The experimental activities in physics, both quantitative as well as qualitative, are an important educational tool when structured in clear bases educational and epistemological, properly conducted. Research on activities that address experimental measurements indicate that students, both in high school and university carries interpretations regarding measures that are consistent with the point paradigm and interpretations may affect moments of pedagogical instructions. For this investigation, twenty students of the first year from high school of a public school in the city of Colorado-PR, performed an experimental activity. At the end, it was found that students who took the strategy measures investigated had a set of behaviors and attitudes that confirm the hypothesis of the work. This strategy provides discussion concerning fluctuations, uncertainties and average, ideas that fit the set paradigm. Hence the strategy involved contributes positively in the construction of the concept of measuring by the students.

Keywords: Measures, Physics Education, Experimental Activities.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quadro analítico para considerar a eficácia de uma tarefa prática (Abrahams; Millar, 2008, p. 1949).....	32
Tabela 2 – Valores das medidas para a densidade do óleo declarados pelos GCs e GEs.....	55
Tabela 3 – Valores experimentais para o Período (T) – Grupo de Controle.	56
Tabela 4 – Valores experimentais para o Período (T) – Grupo Experimental.	56
Tabela 5 – Valores das medidas da aceleração da gravidade declarados pelos GCs e GEs.....	57
Tabela 6 – Valores fornecidos e desvios absolutos das medidas dos GCs e GEs para a densidade do óleo.....	58
Tabela 7 – Valores fornecidos e desvios absolutos das medidas dos GCs e GEs para a aceleração da gravidade local.	58

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Divisão dos vinte grupos no primeiro momento: GC, Grupo de controle e GE, Grupo Experimental..... 50
- Figura 2** – Divisão dos cinco grupos no segundo momento: GC, Grupo de Controle e GE, Grupo Experimental..... 50
- Figura 3** – Distribuição dos valores experimentais da densidade do óleo e da aceleração da gravidade dos GC e GE..... 59

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 CAPÍTULO TEÓRICO	16
1.1 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DE MEDIDAS E ERROS EXPERIMENTAIS	16
1.1.1 Medidas e Medição.....	16
1.1.2 Erros Experimentais	20
1.2 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE CIÊNCIAS	24
1.3 ABORDAGENS A RESPEITO DE MEDIÇÕES NA INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA	35
1.4 PARADIGMA PONTUAL E PARADIGMA DE CONJUNTO.....	37
1.5 PERSPECTIVA KUNHIANA PARA O ENSINO.....	43
2 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO	46
2.1 PROBLEMA DA PESQUISA.....	46
2.2 NATUREZA DA PESQUISA	49
2.3 AMOSTRA DA PESQUISA.....	49
2.4 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS PROPOSTAS	51
2.5 OBTENÇÃO E REGISTRO DOS DADOS.....	53
3 ANÁLISE DOS DADOS	55
3.1 ABORDAGEM QUANTITATIVA.....	55
3.1.1 Apresentação dos Dados	55
3.2 ABORDAGEM QUALITATIVA.....	60
3.2.1 Apresentação dos Dados Individuais dos GCs	61
3.2.2 Apresentação dos Dados Individuais dos GEs.....	63
3.3 TEMPO GASTO NO EXPERIMENTO E NÚMERO DE MEDIÇÕES	69
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERENCIAL	75

ANEXOS	80
ANEXO A – Transcrição do GC1.....	81
ANEXO B – Transcrição do GC2.....	83
ANEXO C – Transcrição do GC3	85
ANEXO D – Transcrição do GC4	88
ANEXO E – Transcrição do GC5.....	90
ANEXO F – Transcrição do GE1	92
ANEXO G – Transcrição do GE2	97
ANEXO H – Transcrição do GE3.....	106
ANEXO I – Transcrição do GE4	108
ANEXO J – Transcrição do GE5	111
ANEXO K – OUTPUT do SPSS20 – Teste t da média dos desvios absolutos da densidade do óleo.....	117
ANEXO L – OUTPUT do SPSS20 – Teste t da média dos desvios absolutos da aceleração da gravidade.....	118
ANEXO M – OUTPUT do SPSS20 – Teste t da média dos valores experimentais da densidade do óleo.....	119
ANEXO N – OUTPUT do SPSS20 – Teste t da média dos valores experimentais da aceleração da gravidade.....	121

INTRODUÇÃO

As atividades experimentais no ensino de Ciências têm recebido destaque teórico a partir dos anos 80, e pode ser encontrado um amplo referencial que investiga o assunto nos mais variados pontos de vista, desde o ensino fundamental até o ensino universitário, tratando de conteúdos que são específicos ao laboratório, como também das concepções e abordagens didáticas aplicadas por professores nos momentos de instrução.

No ensino médio, não é difícil verificar que as atividades experimentais em Ciências são raramente utilizadas por grande parte dos professores brasileiros (BORGES, 2002; GALIAZZI et al., 2001). As justificativas para esse comportamento recaem na falta de tempo para planejar e montar as atividades, recurso insuficiente para reposição de equipamentos, indisponibilidade de sala, de laboratório, formação precária do professor etc. Existe uma gama de possibilidades de atividades experimentais, desde a verificação de modelos teóricos e de demonstração até atividades de natureza investigativa que podem ser desenvolvidas pelos professores. Cabe a eles a escolha da metodologia experimental mais adequada aos objetivos educacionais pretendidos, a adaptação de materiais e locais de ensino e o empenho para que as barreiras dos impedimentos sejam superadas.

No que se refere às atividades experimentais quantitativas, é comum o seu abandono por parte dos professores. Um dos principais motivos para isso acontecer se deve à pouca compreensão de como enfrentar com os estudantes o tratamento de dados experimentais. Estudos que abordam a medição no ensino de Ciências apontam que, de modo geral, os alunos apresentam noções a respeito de medidas pertencentes ao Paradigma Pontual (BUFFLER et al., 2001), o que causa impedimentos para interpretar os dados obtidos. Os alunos não possuem conhecimentos ou noções a respeito de flutuações e incertezas que são inerentes a um processo de medição. Admitem que uma única medida seja suficiente para expressar o valor de uma grandeza física.

Inspirados pela orientação teórica de Millar (1987), neste trabalho investigamos uma estratégia de ensino que tem a preocupação de enfrentar a problemática ligada à medida que, frequentemente, ocorre com os alunos na escola. Basicamente, a estratégia de ensino propõe que os estudantes saibam de antemão o resultado da medida do experimento a realizar. Com isso, deseja-se, além de estimulá-los a melhorar a acurácia da medida, também estimular vários comportamentos e atitudes que favorecem o enfrentamento de suas concepções a esse respeito.

Este trabalho está estruturado em quatro capítulos. O primeiro é teórico e inicia com considerações a respeito de medidas e erros experimentais. Em seguida, apresenta pesquisas que tratam de atividades experimentais no ensino de Ciências, em especial no ensino de Física, e trabalhos que abordam medições na investigação científica internacional e nacional. Apresenta, ainda, a definição do modelo de Paradigma Pontual e de Paradigma de Conjunto e pesquisas que utilizam esse modelo para interpretar as respostas que tratam de medição. Finalmente, estabelece uma analogia do referencial de Millar (1987) com o de Kuhn (1977).

No segundo capítulo, estão descritos os procedimentos metodológicos adotados nesta investigação. Inicia com o problema da pesquisa, fala a respeito da natureza e amostra da pesquisa, expõe as atividades experimentais propostas e explicita a obtenção e o registro dos dados. No terceiro capítulo, são apresentados e analisados os dados da pesquisa divididos em três seções. A primeira traz uma abordagem quantitativa e a segunda, uma abordagem qualitativa. A última seção apresenta algumas considerações a respeito das análises obtidas nas duas seções anteriores. Por fim, no último capítulo, explicitam-se as considerações finais da pesquisa, os resultados obtidos, assim como as contribuições que possam permitir avançar em investigações futuras.

1 CAPÍTULO TEÓRICO

Neste capítulo apresentamos algumas considerações a respeito de medidas e erros experimentais e a importância das atividades experimentais no ensino de Ciências, conforme literatura da área. Abordamos a definição de Paradigma Pontual e Paradigma de Conjunto e investigações que tratam de medições e que utilizam esses paradigmas em suas análises. Explanamos a respeito da perspectiva kuhniana para o ensino relacionando-a com a proposta de Millar (1987).

1.1 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DE MEDIDAS E ERROS EXPERIMENTAIS

1.1.1 Medidas e Medição

Etimologicamente os significados das palavras medida e medição são complexos devido às suas aplicabilidades em diferenciadas áreas do conhecimento, como Matemática, Física, Informática, Filosofia e Metrologia. Para Kitchenham et al. (1995), a medição produz como resultado um conjunto de medidas. Lemes e Fernandes (1997) definem que uma medida denota a aplicação de um processo de medição para a obtenção de dados quantitativos. A medida é o dado ou o valor obtido pela execução de uma medição.

De acordo com Juraitis e Domiciano (2009), os termos medida e medição são, muitas vezes, empregados como sinônimos. No entanto, faz-se necessário salientar a diferença entre eles. Medição é o ato ou efeito de medir. Uma medição objetiva determina o valor do mensurando, ou seja, o valor da grandeza a ser medida. “Uma medição começa, portanto, com uma especificação apropriada do mesurando, do método e do procedimento de medição” (ibid., p. 30). Ainda para os autores, medida é o termo usado para se referir ao valor numérico resultante de uma dada medição.

Nas Ciências Físicas, o resultado do ato de medir é a medida, e a medição se dá por meio de uma grandeza física. Assim “a medição é qualquer operação precisamente especificada que gera um número (DINGLE apud MARTINS

1982, p. 73). Por isso o tratamento que se dá a uma medida física requer um conhecimento a respeito do que é grandeza física. Para Tipler (2006), a medida de qualquer grandeza física envolve a comparação com um valor unitário precisamente definido da mesma grandeza, em que a magnitude de qualquer grandeza física deve incluir um número e uma unidade. As grandezas físicas são conceitos quantitativos (MARTINS, 1982).

Lord Kelvin resumiu em uma afirmação a importância das medições como parte da essência das Ciências:

Eu frequentemente digo que quando se pode medir aquilo sobre o que se está falando e expressá-lo em números, você sabe algo sobre ele; mas quando não se pode medi-lo, quando não se pode expressá-lo em números, seu conhecimento é incompleto e insatisfatório; pode ser o início do conhecimento, mas seus pensamentos quase não avançam para alcançar o estágio de ciência, qualquer que seja o assunto.

É recorrente os livros didáticos apresentarem uma breve introdução a respeito da importância das medidas no estudo da Química, da Física, de Ciências em geral, mas pouco desenvolvem este estudo com os alunos, limitando-se a explicações do Sistema Internacional de Unidades e transformações de unidades de medidas. Mäntylä e Koponen (2007) dizem que os professores nem sempre consideram como parte integrante da compreensão conceitual a formação das quantidades por meio de experimentos quantitativos. Para os autores, no ensino de Física, o entendimento conceitual refere-se à compreensão do significado dos conceitos. Na Física, esta compreensão remonta à questão de como os conceitos adquirem seu significado e suporte empírico, estando, assim, diretamente relacionada com as medições que transformam os conceitos em quantidades físicas mensuráveis.

A construção do significado de quantidade envolve um conjunto de experimentos e medições. Cada novo experimento baseia-se nos resultados dos experimentos anteriores e cria uma rede estruturada em que são estabelecidos significados empíricos para as quantidades e as leis. A visão de rede sugerida por Mäntylä e Koponen (2007) tem a finalidade de explicar que os conceitos não podem ser definidos semanticamente ou isolados de outros conceitos, além disso, essa visão também se torna possível para manter os conceitos como estruturas abertas

ao desenvolvimento e não apenas um aspecto importante ao ensino de Física, mas condição necessária para o progresso da Física em si.

Para fazer e descrever as observações científicas e medidas, deve-se fazer uso de certos conceitos e instrumentos de medida, a fim de organizar e impor uma ordem intelectual aos dados e interpretá-los de modo a extrair inferências das regularidades (CHANG, 2004; LABURÚ; BARROS, 2009). Todavia o que se vê, em muitos casos, são apenas alunos empenhados em resolver um problema experimental, com pouco tempo e habilidade para a discussão dos resultados experimentais. De acordo com Coelho e Séré (1998), uma compreensão aprofundada sobre a natureza da medida é considerada complicada e demanda tempo, por isso não é tratada em detalhe.

Segundo Laburú e Barros (2009, p. 152), “o sentido que um aprendiz dá à medida determina as suas decisões de como coletar, processar e interpretar dados, de modo a obter conclusões”. Para os autores, essas decisões são imprescindíveis para desenvolver atividades didáticas com objetivos variados, baseados em orientações instrucionais fundamentadas no teste de hipóteses ou no emprego de um paradigma, de inclinações popperiana e kuhniana, respectivamente, ou, ainda, embora mais criticáveis, orientações verificacionista ou indutivista. Os autores ressaltam que todos esses objetivos instrucionais envolvem confrontar ou comparar teoria e evidência, o que implica estabelecer relações entre variáveis, processar dados e utilizá-los para suportar uma conclusão.

A chegada da precisão das medidas e da matematização da Física possibilitou o uso da medição para confirmar e explorar as teorias pelos cientistas (COELHO, 1993). A partir de então, os cientistas puderam dar às medidas a função de teste ou de controle de uma hipótese ou de uma teoria na ciência. A teoria é fundamental na Ciência no sentido de orientar os cientistas na realização de suas experiências, no momento de confrontar resultados empíricos com a teoria. A relação entre teoria e evidência (KUHN, 1977), na maior parte das investigações realizadas pelos cientistas, não busca a concordância absoluta, mas sim uma concordância razoável, ou até mesmo uma aproximação entre ambas. É a teoria que conduz e orienta os cientistas às decisões ao escolherem o objeto de estudo e o que mais for necessário durante uma experiência. No ensino de Ciências, as experiências realizadas devem ser planejadas e interpretadas à luz das teorias, pois

respondem pelas novas descobertas científicas e possibilitam o avanço tecnológico de novos instrumentos de medidas.

Compreende-se, portanto, que a medição é importante em diversas Ciências, em particular na Física, pois essa é essencialmente quantitativa e depende dos processos de medição em sua parte experimental. Nos experimentos quantitativos, o aspecto procedimental que reúne a coleta, o processamento e a comparação de dados necessários para justificar argumentos provocados por padrões dos resultados experimentais, assim como os conceitos de Física, mostra-se de difícil compreensão para alunos adolescentes e universitários (ALLIE et al., 1998; BUFFLER et al., 2001; KIRSCHNER, 1992; LUBBEN; MILLAR, 1996).

De acordo com Laború e Barros (2009), a parte procedimental é fundamental para se avaliar quão bem as conclusões são ou não suportadas pelos resultados empíricos, concordando com Osborne (1996), quando este diz que o trabalho experimental deveria focar mais fortemente o entendimento dos procedimentos relativos às medidas, pois, em Física, todo experimento envolve medição de uma ou várias grandezas. Para Millar (1987), mesmo que haja prudência na realização de uma medição, as medidas encontradas estão sujeitas a incertezas experimentais, por isso ele considera um capricho utilizar qualquer sugestão de experimento escolar para decidir entre teorias em competição.

Uma medição, por mais bem feita que seja, é sempre aproximada. Para que uma medição física fique completa, deve incluir informações a respeito da confiança no valor numérico encontrado. Segundo Figueiredo (1966), ao realizarmos uma medida, três elementos são identificados: o método, a instrumentação e o experimentador. Qualquer um desses fatores pode influenciar a ocorrência de flutuações durante a realização da medição. Deste modo, por serem inerentes ao processo de medição (FIGUEIREDO, 1966), os erros experimentais devem ser abordados, haja vista muitos estudantes apresentarem dificuldades em compreender, interpretar e analisar os resultados experimentais obtidos a fim de produzirem ou sustentarem conclusões (MARINELLI; PACCA, 2006; LUBBEN; MILLAR, 1996).

1.1.2 Erros Experimentais

Um experimento é considerado uma etapa fundamental da investigação científica. Requer do experimentador habilidades tanto em conceber quanto em criar condições para que ele possa ser reproduzido. “A objetividade de um experimento resulta do teste de uma ou mais hipóteses que envolvam conexões ou relações entre as grandezas ou atributos de um sistema” (SANTORO et al., 2008, p. 11), podendo-se estabelecer as leis da Física a partir de hipóteses experimentalmente testáveis.

Em qualquer processo de medição de uma grandeza, estão presentes os erros que caracterizam incertezas inevitáveis, gerados pela destreza do operador, pelas características dos equipamentos utilizados, pelo controle das variáveis que afetam os instrumentos de medida (temperatura, pressão, etc.), pelo número de repetições, Algarismos significativos, entre outros (HENNIES et al., 1986). Por definição, erro é a diferença entre o valor obtido no processo de medição e o valor verdadeiro da grandeza medida (JCGM, 2008b).

O Vocabulário *Internacional de Termos Fundamentais e Gerais em Metrologia* (INMETRO, 1995) define mensurando como “a grandeza específica submetida a medição”. Vuolo (1999) esclarece que, no formalismo, para a avaliação de incerteza, o valor (verdadeiro) do mensurando é uma quantidade desconhecida e *desconhecível (que não pode ser conhecida)*. O autor observa que a palavra “verdadeiro” é redundante na expressão “valor verdadeiro do mensurando” e pode-se usar apenas “valor do mensurando”, como recomendado no GUM¹ (JCGM, 2008a). Vuolo ressalta que, em certas circunstâncias, especialmente para fins didáticos, pode ser útil ou importante enfatizar que se trata do valor verdadeiro.

Quando se registra o resultado da medição de uma grandeza física, é obrigatório fazer alguma indicação quantitativa da qualidade desse resultado, de maneira que outras pessoas possam avaliá-lo e compará-lo com outros resultados (JCGM, 2008b). O parâmetro quantitativo que expressa a confiabilidade do resultado de uma medição chama-se incerteza. Ela decorre da falta de precisão e exatidão no conhecimento que se tem a respeito do mensurando. Quanto maior for a incerteza de uma medida, menor será a confiabilidade que se deve atribuir a ela (LIMA

¹ Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement

JÚNIOR; SILVEIRA, 2011a). Toda grandeza estimada a partir de dados experimentais possui alguma incerteza na sua determinação. Fatores como: variações entre observações repetidas sob condições aparentemente idênticas em decorrência da interferência de grandezas que não estão sendo controladas; valores inexatos de constantes da natureza ou outros parâmetros externos necessários para completar o processo de medição; viés subjetivo na leitura de escalas analógicas e limites do instrumento com respeito à resolução são fatores que contribuem para que se tenha dúvida a respeito dos resultados de medição (LIMA JÚNIOR; SILVEIRA, 2011a).

A incerteza pode ser expressa de duas maneiras: (1) como desvio padrão, a chamada incerteza padrão; e (2) como um múltiplo de desvio padrão, a chamada incerteza expandida. Nos dois casos, ela é uma medida da dispersão dos valores que podem ser atribuídos ao mensurando (LIMA JÚNIOR; SILVEIRA, 2011b). De acordo com o GUM, é possível afirmar que toda incerteza é redutível a uma quantidade que pode ser expressa e interpretada com um desvio padrão independente da maneira que foi obtida. O Guia reconhece dois tipos de incertezas denominadas de tipo A e tipo B. O primeiro é a incerteza que se obtém por análises estatísticas de uma série de observações. E a do tipo B é a incerteza que se obtém por quaisquer outros métodos. Ambas podem ser interpretadas como desvios padrão.

A avaliação do erro de uma medida depende do conhecimento antecipado a respeito do valor do mensurando. Por exemplo, desde 1983, por definição, adota-se a velocidade da luz no vácuo igual a 299.792.458 m/s. Portanto, ao final de qualquer medição que objetiva determinar a velocidade da luz no vácuo, pode-se subtrair o resultado obtido experimentalmente do valor conhecido por definição (LIMA JÚNIOR; SILVEIRA, 2011b). O objetivo final da teoria de erros, segundo Vuolo (1982, p.48), consiste em determinar o melhor valor possível para a grandeza a partir dos resultados das medidas e quanto o seu valor pode ser diferente do valor verdadeiro. O melhor valor para uma grandeza, que pode ser extraído de um conjunto de dados experimentais, deve ser o valor mais próximo possível do valor verdadeiro.

Comumente ocorrem erros de diversos tipos na retirada de uma mesma medida. Os erros são classificados, segundo Hennes et al. (1986), em

grosseiros, sistemáticos e estatísticos². Os erros grosseiros ocorrem devido à inabilidade do operador, como, por exemplo, falha na leitura de uma medida, erros de escala, de contas, calibração do equipamento. Os erros sistemáticos são aqueles que acontecem sempre no mesmo sentido, isto é, sistematicamente para mais ou para menos. Decorrem de instrumentos mal calibrados, não linearidade de escala a erros de paralaxe de leitura, ou seja, discrepâncias observacionais persistentes. Os experimentos sujeitos às condições ambientais, como mudanças de pressão, umidade e temperatura, são mais suscetíveis a este tipo de erro (HENNIES, et al., 1986).

Segundo o VIM³ (JCGM, 2008b), erro estatístico é a parcela do erro que varia de maneira imprevisível entre uma medição e outra. Ele pode ser a relação da grandeza que estamos medindo com outras grandezas que não conseguimos ou não desejamos controlar experimentalmente (estão variando). Esses erros jamais serão eliminados por completo, mas apenas reduzidos. Uma solução para minimizar os efeitos dos erros estatísticos consiste em repetir medidas, já que o valor médio de um grande número de medidas tem erro estatístico menor, além de permitir avaliar a incerteza estatística no resultado a partir da flutuação observada de medida para medida (VUOLO, 1982). A diminuição desses erros se dá pela repetição contínua das medidas, decrescendo proporcionalmente a $1/\sqrt{N}$, em que N representa o número de medidas. Este erro comumente é dado com a média de uma grandeza física, conseguida por meio do valor do erro quadrático médio. Conhecê-lo em um processo de medição torna-se importante para constatar o quanto ele está próximo da medida, ou, em termos estatísticos, sua precisão.

O termo precisão muitas vezes é confundido com acurácia. De acordo com Vuolo (1992), precisão encontra-se relacionada apenas com os erros estatísticos. Quão menores forem estes, maior será a precisão de uma medida durante um procedimento de medição. Já a acurácia está relacionada com erros sistemáticos e estatísticos e é uma indicação de quanto o valor experimental de uma grandeza está próximo do valor verdadeiro desta. A acurácia (ou exatidão) indica a qualidade do resultado da medição no que se refere à incerteza final (VUOLO, 1999)

A acurácia de um experimento é uma medida do quanto o resultado experimental está próximo do valor verdadeiro de uma grandeza, já a precisão de

² Também chamados de erros aleatórios ou erros acidentais.

³International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology.

um experimento é uma medida da reprodutibilidade dos valores obtidos em repetidas medições, em relação a um valor médio, independente da concordância do resultado final com o valor verdadeiro (JURAITIS; DOMICIANO, 2009, p. 126).

Para ter boa precisão, é necessário que os erros estatísticos sejam pequenos, de maneira que o resultado seja reprodutível ao repetir-se a medida. Em contrapartida, para haver boa acurácia, é necessário ter boa precisão e erros sistemáticos pequenos (VUOLO, 1992). Para reforçar, uma medida experimental determina um valor à grandeza física, sendo o valor exato sempre desconhecido. Por isso a expressão que é fornecida para declarar o resultado da medida deve indicar a incerteza experimental. Qualquer medida pertence sempre a uma faixa de valores, que é expressa por um valor central, por uma largura e por um grau de confiabilidade, o que permite considerar que a medida esteja compreendida nessa faixa de confiança. Tal fato é característico de qualquer processo de medição. Como já visto, não é possível conhecer o valor verdadeiro exato de uma grandeza física e, sim, uma estimativa em decorrência dos erros de medida. Daí a importância de um número de medidas para formar uma distribuição que reúna certos valores particulares. Assim, após medir uma grandeza, deve-se obter uma estimativa do espalhamento numérico que avalie quão adequada ela é. De acordo com Helene et al. (1991, p, 15), essa estimativa de quão afastado está o resultado obtido do valor verdadeiro pode ser representada por algo como:

$$\text{RESULTADO} = \left(\begin{array}{c} \text{Estimativa do valor} \\ \text{da grandeza medida} \end{array} \right) \pm \left(\begin{array}{c} \text{Estimativa do quão longe o valor} \\ \text{verdadeiro pode estar da estimativa} \\ \text{que temos dele} \end{array} \right) \quad (1)$$

Na ocorrência apenas de erros estatísticos, a melhor maneira de representar o valor verdadeiro é a combinação do maior número de medidas possível. Neste caso, o valor médio é a melhor estimativa do valor verdadeiro da medição. A estimativa de quão longe se encontra essa média do valor verdadeiro é dada pelo desvio padrão da média. O resultado de um experimento se dá na forma (op. cit., p. 17):

$$\text{RESULTADO} = [\text{Valor Médio} \pm \text{Desvio Padrão da Média}] \quad (2)$$

O nível de confiança do resultado de um experimento é de 68%. Esta expressão é a melhor maneira de representar o resultado de um experimento e, entre todas as possíveis, sempre que os dados obedecerem à distribuição normal (ibid.). Entende-se que o valor verdadeiro tem 68% de probabilidade de ser encontrado no intervalo dado pelo resultado da expressão 2, e por essa expressão consegue-se realizar comparações entre amostras, ou de uma evidência com uma ou mais teorias.

A determinação da expressão 2 inclui procedimentos formais matemáticos para a obtenção da média e desvio padrão da média, usados para caracterizar a amostra de dados como um todo. A Teoria de Erros, contudo, é mais abrangente e não se esgota nessas ferramentas conceituais e operacionais, inclui métodos, processos de medição e o emprego de aparelhos. Em Vuolo (1982), encontramos, ainda, distribuição normal, propagação de erros, ajuste por regressão linear e polinomial, verossimilhança, barras de incerteza, covariância, incertezas, entre outros assuntos comuns a referências que abordam a Teoria de Erros.

1.2 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

São muitas as pesquisas que abordam a importância das atividades experimentais no ensino de Ciências, principalmente nos últimos 30 anos. Apontam seus objetivos, as concepções dos professores, ações e raciocínios dos alunos e até mesmo críticas a essas atividades (ABRAHAMS; MILLAR, 2008; BARBERÁ; VALDÉS, 1996; BUFFLER et al. 2001; HODSON, 1994; LABURÚ, 2005; LUBBEN; MILLAR, 1996; MILLAR, 1987; SÉRÉ, et. al, 2003). A exemplo disso destacamos a edição comemorativa dos vinte e cinco anos do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, publicada em 2004, que reedita uma série de artigos publicados nessa revista a respeito da atividade experimental no ensino da Física, e o volume especial do *International Journal of Science Education*, publicado em 1996, que discute tais atividades.

No Editorial do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Peduzzi e Peduzzi (2004) justificam que a experimentação, tanto a qualitativa quanto a quantitativa, se estruturada em bases educacionais e epistemológicas claras e bem conduzidas, aguça a curiosidade, minimiza a abstração, proporcionando discussões, elaborações de hipóteses, reflexões, criticidade; oportuniza o conhecimento de

métodos e de técnicas de investigação e análise de dados, facilitando a compreensão de conceitos, leis e teorias, aproximando a Física do mundo real através da percepção da relação ciência e tecnologia.

As Diretrizes Curriculares de Física para a educação básica do Estado do Paraná (SEED, 2008) consideram fundamental que o professor compreenda o papel dos experimentos na Ciência, no processo de construção do conhecimento científico. Essa compreensão determina a necessidade (ou não) das atividades experimentais nas aulas de Física e o reconhecimento da importância do papel da experimentação como integrante de um processo que permite a compreensão dos conceitos e estimulam os alunos.

Interessado em observar como entendem os motivos que levam os estudantes a participarem de atividades práticas, Hodson (1994) entrevistou professores e agrupou os objetivos citados pelos entrevistados para o uso dos experimentos em cinco categorias gerais: a) para motivar mediante a estimulação do interesse e da diversão; b) para ensinar as técnicas de laboratório; c) para intensificar a aprendizagem dos conhecimentos científicos; d) para proporcionar uma ideia do método científico e desenvolver habilidades em sua utilização; e) para desenvolver determinadas atitudes científicas (HODSON, 1994, p. 300).

Com relação ao primeiro objetivo – para motivar mediante estimulação do interesse e da diversão –, Hodson (1994) comenta que nem todos os alunos desenvolvem atitudes positivas diante da realização de trabalhos práticos. Alguns estudantes manifestam aversão a esse tipo de atividade. O autor diz que a interação entre alunos e professor, a atuação mais livre, a fuga do modelo tradicional são fatores importantes no ensino, porém a discussão fundamental deve voltar-se para o tipo de trabalho prático que é realizado.

Segundo White (1996), as atividades experimentais não parecem incrementar a compreensão do ensino de Ciências por apresentarem roteiros pouco esclarecedores e atividades não imaginativas. Reconhece que essas atividades atendem o propósito de motivar os alunos para as aulas de Ciências. Embora não favoreçam necessariamente o desenvolvimento ou a compreensão de um conceito que está sendo estudado, predispõem o aluno a uma situação de aprendizagem, atuando na sua parte emocional e estrutura psíquica. Para Hodson (1994), a atividade prática deve valorizar o desafio cognitivo exigido dos alunos, independente da idade, mas é claro que não precisa ser algo de difícil compreensão e execução.

Quanto ao segundo aspecto dos objetivos – ensino das técnicas de laboratório –, Hodson (1994) aponta pesquisas que revelam que, mesmo após vários anos recebendo orientações baseadas em aulas práticas de laboratório, muitos estudantes não são capazes de chegar ao fim das atividades práticas de forma precisa e segura. Comumente, os alunos as terminam com uma ligeira ideia do que está acontecendo. Apresentam dificuldades na leitura dos instrumentos, montagem de experiências, com a construção de gráficos, entre outras. Hodson diz não ser contra o ensino de técnicas laboratoriais. Defende que se devem ensinar com um nível de competência satisfatório apenas as habilidades necessárias para cada fase de ensino.

No terceiro e quarto aspecto dos objetivos declarados pelos professores – intensificar a aprendizagem dos conhecimentos científicos e proporcionar uma ideia do método científico e desenvolver habilidades em sua utilização –, Hodson (1994) expressa que é comum a visão de que as atividades práticas desenvolvem diversas habilidades essenciais para a aprendizagem das Ciências, com caráter decisivo na construção do conhecimento científico.

Com relação ao quinto objetivo das atividades experimentais relatado por Hodson (1994) – desenvolver determinadas atitudes científicas –, o autor define atitude científica como o “conjunto de enfoques e atitudes a respeito da informação, as ideias e os procedimentos considerados essenciais para os praticantes da Ciência” (p. 303). Ele afirma que as atividades práticas não favorecem essas atitudes. Os alunos, apesar do contato com o trabalho experimental, continuam com a visão do cientista como uma pessoa de características inatas, como objetividade e neutralidade, e muitos professores de Ciências costumam sentir um interesse pessoal em sustentar essa imagem a fim de destacar sua posição na escola.

Hodson (1994) vê vantagens no trabalho prático ao dizer que qualquer método de aprendizagem que requeira alunos ativos em vez de passivos condiz com a ideia de que eles aprendem melhor com o trabalho prático (p. 305), porém é preciso repensá-lo. Para o autor, deve-se reconceitualizá-lo no sentido de integrá-lo em um plano que vise o ensino da Ciência e seus métodos. É comum que o trabalho prático seja utilizado em demasia ou até precariamente nas escolas, perdendo sua essência. Muitos deles são mal concebidos, confusos e não têm valor educacional. É importante, portanto, que os alunos compreendam a natureza do problema e o procedimento experimental (nenhum dos quais lhes é consultado);

adotem uma perspectiva teórica relacionada com o tema de estudo; leiam, assimilem e sigam as instruções do experimento; manipulem equipamentos; reconheçam a diferença entre os dados obtidos e os resultados que deveriam ter sido obtidos; interpretem tais resultados e escrevam um informe do experimento (p. 304).

Hodson (1994) considera conveniente que o ensino da Ciência conste de três aspectos principais: a aprendizagem da ciência, a aprendizagem da natureza da ciência e a prática da ciência. A respeito da *aprendizagem da ciência*, o autor diz que o trabalho prático tende a colaborar na produção de modificações do pensamento dos alunos, por isso é importante que o professor identifique suas ideias prévias a respeito de determinado assunto e realize experimentos que estimulem o desenvolvimento e a possível modificação dessas ideias. Para garantir que os estudantes tenham sucesso na aprendizagem a respeito da *natureza da ciência*, é necessário que o planejamento siga um modelo científico válido filosoficamente, não um baseado no indutivismo, mas um modelo de ciência que reconheça a possibilidade de falibilidade entre observação teórica e experimentação. Quanto à aprendizagem da *prática da ciência*, não basta o estudante apenas estar consciente da natureza de uma observação científica e dos métodos de experimentação, é necessário que ele possa compreender o sentido que a ciência dá a uma investigação científica, “como se coloca a ciência em prática”. Por isso apenas a demonstração prática de um determinado fenômeno é insuficiente. É necessário utilizar variadas técnicas de aprendizagem, como o estudo de casos históricos, simulações, reconstruções, debates e reflexões a respeito dos experimentos.

Millar (2003) e Abrahams (2009) consideram que a atividade prática deve ter um papel central no currículo escolar de Ciências, em alguns casos priorizando a qualidade ao invés da quantidade. O experimento apenas pelo experimento não faz sentido, pois pode até gerar desorganização conceitual, metodológica e epistemológica. Segundo Millar (2003), um currículo de ciências deveria contemplar os seguintes aspectos a respeito da compreensão das Ciências: a) compreensão do conteúdo científico; b) compreensão dos métodos de investigação usados em Ciência; c) compreensão da Ciência como um empreendimento social.

Com relação ao primeiro dos aspectos – *compreensão do conteúdo científico* –, Millar coloca que ninguém poderia ser considerado alfabetizado cientificamente sem alguma compreensão de algum conteúdo da Ciência. Mas, diante de inúmeros conteúdos presentes nos livros didáticos, nos manuais, nos programas de ensino, a questão é: Qual conteúdo? O autor recomenda que, diante da evidência da ausência de compreensão por parte dos estudantes em tantas áreas básicas, faça menos, mas faça-o melhor. Argumenta que o inchaço dos livros didáticos dá a impressão de falta de consenso a respeito das prioridades a serem trabalhadas. Sugere que o currículo de ciências para a educação básica contemple dois objetivos a respeito do conteúdo científico. O primeiro é ajudar os estudantes a tornarem-se mais capacitados nas suas interações com o mundo material pela ênfase em um modo de conhecimento mais tecnológico, mais útil do ponto de vista prático. O outro objetivo é desenvolver gradualmente a compreensão dos estudantes de um pequeno número de “modelos mentais” a respeito do comportamento do mundo natural (MILLAR, 2003).

Com relação a *compreender os métodos da ciência*, Millar (2003) julga importante ter claro se consideramos que uma compreensão do método científico é válida porque ela proporciona um método de investigação útil do ponto de vista geral ou porque é importante para qualquer um conhecer algo a respeito de como o conhecimento científico foi obtido. O autor afirma que a primeira justificativa é baseada no argumento da utilidade e a segunda, nos argumentos democráticos, sociais e culturais. Considera que uma compreensão dos conteúdos de ciências envolve um conhecimento a respeito de como essas ideias chegaram a ser obtidas, como também as garantias para aceitá-las como válidas e úteis.

O terceiro dos aspectos considerado por Millar – *compreensão da ciência como um método natural* - baseia-a na questão do que precisamente queremos que os jovens compreendam sobre as relações entre Ciências e estrutura social. Para o autor, o currículo poderia promover oportunidades para o estudante conhecer mais a respeito do trabalho científico real, através da análise de alguns exemplos concretos, como visitas a laboratórios, partilhas de ideias em congressos e em artigos de revistas, entre outros (p. 89). Segundo Millar (2003), para validar o currículo de Ciências, é necessário decidir por que queremos ensiná-la para todos os alunos, assim pode-se trabalhar com o que se deseja ensinar. A pesquisa, unida

a desenvolvimento e avaliação de abordagens e materiais didáticos, contribuirá para descobrir como ensinar melhor os conteúdos de Ciências.

Gil-Pérez et al. (1999) dizem que a transformação eficaz do habitual ensino da Ciência requer mais do que simples reconhecimento de algumas de suas deficiências mais visíveis, exige um repensar global de todo o processo de ensino. Por isso falam da importância de pesquisas que convirjam para uma integração consistente entre os vários aspectos do ensino e da aprendizagem da Ciência. Os autores questionam a maneira como as pesquisas são apresentadas: a divisão clássica entre teoria, prática e resolução de problemas. Para eles, essa separação não existe, pois na atividade científica esses itens aparecem integrados e sua dissociação pode se tornar um entrave para o ensino de Ciências. Concordam que vêm ocorrendo avanços nas pesquisas e no ensino e que a inovação em cada um dos três campos (teoria, prática e resolução de problemas) mostra convergência e integração em um único processo. Por isso Gil-Pérez et al. defendem a possibilidade de um replanejamento amplo do ensino considerando as variadas pesquisas existentes com relação aos diferentes aspectos do processo de ensino e aprendizado. A dificuldade está na socialização do resultado dessas pesquisas à prática docente. Por exemplo, na década de oitenta, as pesquisas concentraram-se nas concepções alternativas, porém seus resultados tiveram pouco efeito na prática de laboratório e na evolução do aprendizado. Para os autores, isso se deve ao fato de que as técnicas empregadas em sala de aula continuaram tradicionais.

Outro problema apontado por Gil-Pérez et al. (1999) refere-se à pouca relação entre os estudos realizados com diferentes objetivos. Por exemplo, os estudos a respeito das concepções alternativas, práticas de laboratório, resolução de problemas e avaliação não se integram em um corpo coerente de conhecimento. Para que essa integração ocorra, os autores sugerem que é preciso a participação efetiva do estudante na (re)construção do conhecimento através de pesquisa dirigida, garantindo-lhe oportunidade para reflexão. Essa ideia tem por base o consenso em torno da proposta construtivista, em que a busca por uma aprendizagem significativa requer a participação dos estudantes na construção do conhecimento, que geralmente é transmitido já elaborado. É importante ressaltar que não se pretende que o aluno se torne um investigador autônomo, como proposto no “método da descoberta” em reação ao papel passivo do aluno, mas, sim, que os alunos interajam em equipes, com o professor e textos didáticos. Os

autores consideram a necessidade de modificar a concepção epistemológica dos professores em relação ao trabalho científico para que isso reflita na sua prática de laboratório e, para isso, sugerem a pesquisa dirigida.

Para Lavonen et al. (2004), as atividades experimentais no ensino de Ciências possibilitam a aprendizagem de destrezas que são imprescindíveis para a condução de experimentos e de outras advindas dos alunos devido ao trabalho manipulativo dos experimentos, além de implicar na motivação e proporcionar a integração entre teoria e prática e a aprendizagem de conceitos. Para eles, muitas vezes os professores se sentem pressionados a fazerem uso das atividades experimentais por estarem presentes no currículo escolar. As justificativas dos professores para não utilizarem as atividades experimentais, segundo os autores, variam em torno de alegações de falta de tempo, equipamentos inadequados e desmotivação. Essas explicações estão atreladas à crença epistemológica dos professores a respeito das atividades experimentais, que compromete a maneira de utilizá-las ou não.

Do mesmo modo, no ensino de Física e Química nas escolas brasileiras, raramente são utilizadas atividades experimentais por parte dos professores (AXT, 1991; GALIAZZI et al., 2001; LABURÚ et al., 2007). Investigações apontam como justificativa os seguintes fatores: indisponibilidade do material, falta de tempo para as aulas, número excessivo de alunos em sala de aula, ausência de laboratório, falta de tempo para o professor planejar e montar as atividades, falta de atividades preparadas, reposição do material. Galiazzi et al. (2001) ressaltam a importância da discussão a respeito das atividades experimentais na formação inicial dos professores, pois, da investigação realizada por eles com um grupo de trinta e dois alunos e dezoito professores de um curso de química, concluíram que o grupo questionado considera a atividade experimental como um dos instrumentos possíveis de serem utilizados para a aprendizagem das Ciências no ensino médio, mas não o único. Mas a valorização da prática ainda aparece como elemento único de construção da teoria. Neste segundo caso, existe a separação entre aulas teóricas e práticas. Então é preciso fazer a prática para depois ver a teoria, ou seja, a prática estruturando a teorização, como se não existisse teoria ao se fazer a prática (p. 260).

Laburú (2005) identifica através da fala de professores os motivos para a escolha de determinados experimentos ou equipamentos em aulas de Física

no ensino médio. Esses motivos são organizados em quatro categorias: Motivacional, Funcional, Instrucional e Epistemológica. Em resumo, na categoria *Motivacional*, as respostas dadas pelos professores têm como foco direto de atenção o aluno. Por isso os respondentes optam por atividades experimentais que despertam o interesse dos alunos, como atividades curiosas, atraentes, envolventes, chocantes, relacionadas à tecnologia e que estabeleçam relações com o cotidiano dos mesmos. A categoria *Funcional* reúne um conjunto de respostas que prioriza aspectos relacionados à parte estrutural da atividade experimental. Levam-se em conta características e propriedades inerentes do material, como também a viabilidade da realização em sala de aula. As respostas relacionadas fundamentalmente ao ensino e à aprendizagem foram agrupadas na categoria intitulada *Instrucional*. Estão aí as atividades experimentais facilitadoras da explicação, da apresentação dos conceitos e modelos, procurando tornar a teoria simplificada e “clara” para o aluno. A categoria *Epistemológica* reúne respostas que procuram contemplar um padrão de características que tende a dar um apelo forte para a construção do conhecimento, ou, mais especificamente, para a capacidade da formulação teórica em tratar a realidade (ibid., p. 167). São priorizadas atividades experimentais que estabelecem uma relação entre o empírico *versus* construção teórica e a demonstração das implicações das teorias e leis. A atividade experimental é relacionada com a comprovação na prática de situações idealizadas na teoria.

Abrahams e Millar (2008) realizaram uma investigação com o objetivo de responder se o trabalho prático realmente funciona como método de ensino e aprendizagem em Ciências. Para tanto, foram analisadas vinte e cinco aulas práticas em escolas da Inglaterra com alunos entre onze e dezesseis anos. Realizaram entrevistas com professores e alunos, além de presenciarem as atividades práticas no momento em que elas aconteciam. A pesquisa teve como foco verificar se o trabalho prático é eficaz no sentido de aumentar o conhecimento e a compreensão dos alunos, tanto do mundo natural quanto dos processos e práticas da investigação científica. Os autores consideram que não faz sentido perguntar se o trabalho prático, em geral, é uma estratégia eficaz de ensino e aprendizagem. Para eles, deve-se considerar a eficácia de determinados exemplos de trabalhos práticos específicos.

No trabalho supracitado, os autores procuraram explorar criticamente a realidade destes na escola a partir de um quadro analítico que reúne os modelos do processo de concepção e avaliação de uma tarefa prática proposto por Millar et al. (1999) e o trabalho prático ligando o domínio das ideias e dos observáveis a partir de Tiberghien (2000).

Tabela 1 – Quadro analítico para considerar a eficácia de uma tarefa prática).

Eficácia	Domínio dos Observáveis (o)	Domínio das ideias (i)
Uma tarefa prática é eficaz no LEVEL 1 (nível do "fazer") se...	... os alunos fizerem com os objetos e materiais fornecidos o que o professor pretende que eles façam e se gerarem os dados que o professor pretende.	... durante a realização das tarefas, os alunos pensem sobre suas ações e observações usando as ideias que o professor pretende que eles utilizem.
A tarefa prática é eficaz no LEVEL 2 (o nível da "aprendizagem") se os alunos podem recordar mais tarde coisas que fizeram com objetos, materiais ou observações ao realizarem uma tarefa prática, e as principais características dos dados que coletaram.	... se os alunos podem mostrar mais tarde compreensão das ideias da tarefa preparada para ajudá-los a aprender.

Fonte: Abrahams e Millar (2008, p. 1949)

Pela Tabela 1, uma tarefa prática será eficaz no nível 1, no domínio dos observáveis, se os alunos fizerem com os objetos e materiais fornecidos o que o professor pretende que eles façam e gerem os dados esperados. No nível 2 do domínio dos observáveis, a tarefa prática será eficaz se os alunos puderem, mais tarde, recordar de coisas que fizeram com os objetos, materiais ou observações ao realizarem uma atividade. Uma tarefa prática será eficaz no nível 1 do domínio das ideias desde que, durante a realização das tarefas, os alunos pensem a respeito de suas ações e observações utilizando as ideias que o professor pretende que eles utilizem. E, finalmente, a tarefa prática será eficaz no nível 2, no domínio das ideias, se os alunos, mais tarde, mostrarem compreensão das ideias da tarefa realizada e se elas os ajudarem a aprender. Os autores dizem que as quatro células da tabela não são independentes, pois seria pouco provável que um aluno atingisse eficácia no nível 2, no domínio das ideias, se não tivesse atingido eficácia no nível 1, no domínio dos observáveis. Para eles, existe uma diferença significativa entre a eficácia do trabalho prático no domínio dos observáveis e no domínio das ideias. Muitos professores, apesar de não deixarem claro no planejamento ações que contemplem essa separação entre os domínios, esperavam que os alunos

aprendessem conceitos teóricos através das atividades práticas, como consequência de ações realizadas pelos alunos com os objetos e materiais. Os professores investigados dedicaram pouco tempo ao desenvolvimento das ideias dos alunos após realizarem o experimento, dando preferência à montagem e à manipulação dos equipamentos. Para os autores, o trabalho prático na Ciência poderia ser significativamente melhorado se os professores reconhecessem que as ideias explicativas não "emergem" a partir de observações, não importa quão cuidadosamente são guiadas e limitadas. A ciência envolve uma interação entre ideias e observações. Um papel importante do trabalho prático é ajudar os alunos a desenvolverem estas ligações entre as observações e as ideias.

Com o objetivo de verificar se as atividades experimentais realmente motivam os alunos, Abrahams (2009) realizou uma pesquisa com estudantes com idades entre onze e dezesseis anos e alguns professores em oito escolas da Inglaterra. Os resultados apontam que o trabalho prático, em curto prazo, gera o engajamento dos alunos, mas é ineficaz no longo prazo em termos de motivação para a continuidade do estudo da Ciência, justificando que, embora certos trabalhos práticos gerem interesse ou engajamento por uma aula em específico, há pouca evidência de que eles possam motivar os alunos para a Ciência após o período escolar. O autor conclui que os professores entrevistados declararam que o trabalho prático contribui para um controle eficaz do comportamento e é uma estratégia favorável no sentido de chamar a atenção dos alunos com pouco ou nenhum interesse pessoal pela Ciência. Abrahams diz ser pouco provável que os alunos aprendam mais com os trabalhos práticos do que com os não práticos, que considera uma oportunidade de aprendizagem "perdida", mas, para os alunos mais "desligados", o uso do trabalho prático pode, no mínimo, significar que a sua percepção da ciência será menos negativa do que se fossem exigidos mais conceitualmente no trabalho não prático.

Assim como Hodson (1994), Abrahams (2009) concluiu que o entusiasmo dos alunos pelo trabalho prático diminui significativamente à medida que vão avançando os anos escolares. Na pesquisa do último autor, 54% dos alunos iniciantes (onze anos) declaram gostar do trabalho prático porque ele é emocionante, divertido, enquanto 46 % declaram gostar do trabalho prático por ser melhor do que copiar o conteúdo do livro, ouvir o professor ou fazer trabalho escrito, entre outros aspectos. Já nas séries finais do ensino médio, 13% enquadram-se na

primeira justificativa, enquanto 87% dos alunos enquadram-se na segunda. Segundo o mesmo autor, para os alunos iniciantes, a atividade prática é algo interessante, inovadora, como se fosse um romance, mas esses alunos vão se “desiludindo” com o passar dos anos, por se tornar algo repetitivo, sem novas expectativas.

Apesar de algumas dificuldades inerentes ao contexto educacional, Axt (1991) diz que as atividades experimentais são importantes, por gerarem situações de conflito cognitivo quando os alunos se deparam com certos fenômenos que não conseguem explicar com sua própria concepção. O autor declara que as atividades práticas são importantes para o ensino de Ciências, pois permitem aos estudantes realizarem levantamento de hipóteses, com a finalidade de uma confrontação ou demarcação dos limites de validade das teorias, contribuindo para a aquisição do conhecimento e desenvolvimento cognitivo dos alunos. Justifica essa ideia com base na observação de Piaget de que as crianças que estudam Ciências, principalmente as que se encontram anos iniciais, possuem uma faixa etária em que seus raciocínios estão operando em situações com o significado concreto. Séré (2002) fala da importância de os alunos participarem de aulas práticas, pois estas lhes proporcionam a oportunidade de relacionarem os conceitos ao contexto empírico, com a possibilidade de não permanecerem imóveis no mundo dos conceitos e da linguagem. Na opinião de Borges (2002), o trabalho prático pode e deve ter um papel mais importante para a aprendizagem de Ciências. É necessário encontrar, de forma mais criativa, eficiente e com propósitos definidos, novas maneiras de utilizar as atividades práticas. Devem ser, pois, cuidadosamente planejadas, levando-se em conta os objetivos pretendidos, os recursos disponíveis e as ideias prévias dos estudantes a respeito do assunto (p. 311).

1.3 ABORDAGENS A RESPEITO DE MEDIÇÕES NA INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA

Muitos estudos têm identificado os objetivos do laboratório de Física (BUFFLER et al., 2001; CAUZINILLE-MARMECHE et al., 1985; KANARI; LUBBEN; MILLAR, 1996; MILLAR, 2004), isso porque as atividades experimentais são importantes nos momentos em que os alunos realizam a coleta, o processamento e a comparação das medidas, embora evidências sugiram que os alunos realizam experimentos sem a compreensão de tais entendimentos (BUFFLER et al., 2001; COELHO; SÉRÉ, 1998; EVANGELINOS et al., 1999; MARINELI; PACCA, 2006).

Cauzinille-Marmeche et al. (1985) investigaram um grupo de estudantes franceses com idades entre onze e treze anos. O foco da pesquisa consistiu em observar se as ideias prévias dos alunos influenciavam ou não suas ações no momento em que coletavam dados para inferir conclusões a respeito do tempo de combustão de uma vela num recipiente fechado. Os autores resumem as principais e mais comuns formas de pensamento dos alunos a respeito de realizar medidas: a) raramente decidem repetir seus experimentos, por esperarem que os resultados sejam iguais ao primeiro valor obtido; b) um quarto dos alunos fica confuso e não conclui a respeito do efeito da variável, no momento em que há sobreposição entre alguns dados de duas amostras, demonstrando o quanto a sobreposição entre distribuições de dados tem um papel fundamental na tomada de decisão a respeito da influência de uma variável; c) a maior parte dos estudantes não desenvolve um critério de decisão para comparar um conjunto de dados ou médias, por não ter significado para eles.

Lubben e Millar (1996) relatam os resultados de um estudo realizado com cerca de mil alunos do Reino Unido com idades entre onze e dezesseis anos. Eles responderam um questionário composto por seis perguntas acerca da confiabilidade dos dados experimentais. As quatro questões que foram analisadas nesse trabalho abrangem as razões para repetir (ou não) medidas, as formas de lidar com as medições e a importância das dispersões dos resultados pelas respostas.

Concluíram que os alunos entrevistados pensam da seguinte forma: em alguns casos, repetir medidas é perda de tempo, desperdício de material, pois o resultado de uma medida pode ser tão bom quanto outro qualquer; por mais que se repita uma medição, os valores obtidos são diferentes, fica-se então com qualquer

uma dessas medidas; utilizar um equipamento adequado e manuseá-lo com cuidado implicará na obtenção de uma medida correta; alguns alunos repetem a medição com a esperança de obter o valor inicial ou, ainda, acreditam que o valor correto é o recorrente; dão maior importância ao primeiro ou ao último resultado, com a justificativa, em um e outro caso, de que o equipamento inicialmente estava limpo ou que se adquire melhor destreza após várias repetições; um valor particular representa o conjunto, por estar aproximadamente equidistante dos valores extremos; em geral escolhem a série de medidas mais estreita e, se as médias forem iguais, a escolha independe da dispersão dos dados; vinte por cento dos respondentes reconhecem nos dados mais espalhados maior confiança. (op. cit., p. 958-963).

Na pesquisa de Allie et al. (1998), realizada com cento e vinte e um alunos do primeiro ano de Física da Universidade de Cape Town na África do Sul, as respostas dadas às perguntas que sondavam vários aspectos de medição, particularmente a necessidade de repetições e as implicações da propagação associadas aos dados, revelaram em geral que: a) os alunos mostram desejos diferentes em repetir medidas durante a obtenção da média das grandezas de tempo e distância, e a maior parte opta pela grandeza de tempo; b) alguns alunos mostram entendimento da consistência entre dois conjuntos de dados comparando as posições relativas de suas médias e as dispersões obtidas; c) alguns alunos trataram as medidas de forma individual e, na comparação entre dois conjuntos, não reconhecem a média como a melhor representação de todas as medidas.

Relacionado com os procedimentos e estratégias utilizadas para a aquisição de informações que encaminhem para a solução de um problema, Millar et al. (1994) propõem um modelo que distingue três áreas do conhecimento processual: as percepções dos alunos a respeito da finalidade de realizar atividades experimentais; as decisões com relação ao procedimento experimental baseado na habilidade de manipular aparelhos e a compreensão da qualidade da evidência experimental encontrada por eles. Allie et al. (1998) afirmam que a compreensão processual dos alunos é pouco estudada, tampouco utilizada como ponto de partida para o ensino. Os procedimentos experimentais nas aulas de Ciências são geralmente ensinados como uma lista de instruções de como recolher boas medidas e de como manipular os dados. Normalmente, o uso da compreensão processual é dependente do contexto em que se dá o experimento.

O trabalho de Kanari e Millar (2004), feito com sessenta alunos entre dez e quatorze anos, em resumo, foca abordagens e habilidades desses estudantes em coletar e interpretar dados quando examinam as relações entre variáveis, ao realizarem duas atividades práticas. Foram utilizados dois instrumentos: um pêndulo (período, massa e comprimento) e uma caixa (força e massa) e chegaram às seguintes conclusões: os estudantes têm mais dificuldades em interpretar os dados empíricos do que os raciocínios lógicos envolvidos neles e apresentaram menos sucesso em investigações quando a variável dependente não apresentava covariação com a variável independente, pois os erros experimentais encobriam a ausência de covariação. Os raciocínios dos alunos sugerem a dificuldade em reconhecerem que todas as medidas estão sujeitas a incertezas, que podem ser minimizadas ao repetirem medidas e utilizarem o valor médio desse conjunto de medidas como o “melhor valor” (p.767).

Marineli e Pacca (2006) realizaram uma interpretação para as dificuldades e os erros apresentados por estudantes brasileiros de um curso de licenciatura em Física. O entendimento de conceitos como medidas, incertezas e flutuações foi analisado a partir de material escrito retirado de exercícios e relatórios de diferentes alunos durante uma disciplina de laboratório desse curso. Observaram que as dificuldades enfrentadas pelos alunos estão relacionadas, entre outras coisas, à concepção que possuem dos processos de medição, mas estão especialmente relacionadas a uma concepção de Ciência e do acesso dessa a uma realidade (ibid., p. 504). Por exemplo, a ideia de flutuação dos dados não é compreendida pelos alunos, porque associam seu sentido à geração de dados incertos, que não deveriam ocorrer.

1.4 PARADIGMA PONTUAL E PARADIGMA DE CONJUNTO

Os dados coletados por Buffler et al. (2001), a partir de uma pesquisa realizada com alunos do primeiro ano da graduação, com relação à compreensão deles a respeito de medição no laboratório de Física, foram analisados de acordo com um modelo que reúne as descobertas de trabalhos anteriores e enquadra os raciocínios e ações dos estudantes, denominado de Paradigma Pontual e Paradigma de Conjunto (ibid. p. 1139). Nesse contexto, essas denominações estabelecem um paralelo com o conceito kunhiano de paradigma (1977) no sentido

de assinalar um grupo de crenças, valores, técnicas etc. compartilhado pelos alunos ao refletirem a respeito de medida. A ideia de paradigma é utilizada para identificar, classificar e explicar as justificativas apresentadas pelos alunos para uma determinada ação.

No Paradigma Pontual imperam raciocínios que levam essencialmente à compreensão de que cada medida tem a possibilidade de ter um valor correto, muitas vezes considerado como verdadeiro, e de que apenas uma medição é suficiente para expressá-lo. Assim, o foco de pensamento está no tratamento de cada medida de forma individual, independente de outras leituras, não requerendo a combinação entre outras medidas para que sejam tomadas decisões. Se uma série de medidas é feita, as decisões subsequentes são baseadas somente em reflexões pontuais, como seleção de um valor recorrente, comparação feita de valor a valor (Buffler et al., 2001; p. 1139). O desvio de um resultado esperado é atribuído a enganos no procedimento experimental. Não faz sentido tirar médias em uma amostra de dados. Em contrapartida, o Paradigma de Conjunto é caracterizado pela concepção de que cada medida é exclusivamente uma aproximação do valor verdadeiro e que o desvio desse valor é aleatório. Como consequência, é requerido um número de medidas para formar uma distribuição que se agrupa em torno de um valor particular, em que construtos teóricos são utilizados para expressar a melhor informação a respeito do valor verdadeiro, admitindo que incertezas estejam associadas a qualquer medida (op. cit.).

Em resumo, no Paradigma Pontual, o processo de medição permite determinar o valor verdadeiro da medida; enganos associados neste processo podem ser reduzidos a zero e uma única leitura da medida expressa o valor verdadeiro. No Paradigma de Conjunto, o processo de medição fornece informações incompletas a respeito da medida; todas as medidas estão sujeitas a incertezas ou erros que não podem ser reduzidos a zero e todos os dados disponíveis são usados para construir as distribuições das quais a melhor aproximação da medida e um intervalo de incerteza são derivados.

Laburú e Barros (2009) dão interpretações para a formação do Paradigma Pontual. Ele tem grande influência ao se ensinar conceitos ligados ao Paradigma de Conjunto. Os autores buscam entre os mecanismos cognitivos da teoria de Piaget uma das referências que contribuíram para as interpretações por eles apresentadas. O Paradigma de Conjunto, ao contrário do Pontual, adentra em

uma dimensão cognitiva que atua sob o mecanismo do “possível” e não de um falso “necessário” (PIAGET, 1987, p. 51 e 53, apud LABURÚ; BARROS, 2009). Uma transformação conceitual do Paradigma Pontual para o de Conjunto torna-se, portanto, dependente de uma superação cognitiva. Segundo os autores, isso só acontece se houver uma condução da concepção de medição, que, no Paradigma Pontual, é estruturada na pseudonecessidade de um valor único e exato, que prescinde de uma noção de um intervalo de valores, em direção ao conceito de um provável “valor alvo” desconhecido, correlacionado a uma provável incerteza também desconhecida, ficando ambos vinculados, em razão disso, à esfera cognitiva das possibilidades (LABURÚ; BARROS, 2009, p. 159).

O surgimento das pseudonecessidades, segundo Piaget, é resultado da construção de experiências ainda dominadas por uma realidade com pouca abertura para novos possíveis, em que o conhecimento do mundo não se diferencia de uma cópia da realidade externa (VUYK, 1981, p. 189 e 181, apud LABURÚ; BARROS, 2009). Para Laburú e Barros (2009), distanciar-se dessa maneira de pensar é conceber a medida e a incerteza concernentes a um conjunto de uma totalidade ilusória de possíveis valores, arraigadas a um pensamento estatístico e em um tratamento lógico-matemático, que carrega a dependência de uma multiplicidade de possíveis causas que influencia na obtenção de uma medida e leva à noção do erro experimental (p. 158). Para os autores, os fundamentos do Paradigma de Conjunto se voltam para uma forma de pensamento abstrato, por isso os alunos mais novos que se encontram cognitivamente limitados e os com mais idade que estão em processo de desenvolvimento acabam por se apresentar impedidos ao se fazer preciso atingir uma compreensão mais completa a respeito do assunto.

Para Laburú e Barros (2009), atreladas à vertente cognitiva, outras duas fontes desencadeadoras do Paradigma Pontual podem ser identificadas junto a indiferenciados pensamentos matemáticos comumente utilizados. No momento em que é preciso praticar raciocínios matemáticos, lida-se com dois tipos diferentes de atividades: a contagem de elementos discretos, separados e indivisíveis e a medida de quantidades contínuas, na imaginação, infinitamente divisíveis. De um ponto de vista matemático, as operações de contagem e medição estão relacionadas, pois em um processo de medição utilizamos a contagem de números para expressar o valor do mensurado. Segundo os autores, cabe compreender de que forma a

correspondência e não a diferenciação da operação aritmética de contagem e a medição de uma grandeza física podem ocorrer. Exemplificam com o uso do número “um” como referência para alguma coisa contada ou numerada, e o número “um” de um metro em que se faz menção a um comprimento da mesma coisa (1 régua e 1 m de régua, respectivamente). Neste exemplo, pode acontecer que os dois números “1” estejam construídos indiferenciadamente, de modo que o estatuto matemático de número exato (contagem ou numeração) do primeiro “um” corresponde ao segundo, sendo que o último “um” vem da grandeza física espacial (medida de comprimento).

Para os autores, surge um segundo ponto: admitindo-se a mesma operação matemática anterior aplicada à avaliação de uma grandeza física, supondo-se a necessidade de quantificar uma extensão específica, utilizando-se uma unidade convencional dada pelo comprimento de uma régua usada como padrão, o pensamento mais repentino é imaginar que a extensão especificada equivalha a um determinado valor exato, como exemplo: quatro régua e um sexto ($4 \frac{1}{6}$). Nesse raciocínio impera uma operação matemática de medição que trata o resultado da medida como um número perfeito.

Para Laburú e Barros (2009), o emprego indiscriminado dessa operação de pensamento aritmético, pertencente à esfera da concepção matemática, passa a ser transposto diretamente para uma de natureza física. Observa-se, portanto, uma noção de exatidão, de certeza ligada à medida matemática, que se estende para as medições físicas. Para os autores, essa compreensão precisa ser ultrapassada, pois envolve uma dimensão cognitiva ligada ao possível e relacionada com um conceito de incerteza. Este conceito, por sua vez, fica dependente da construção mais elaborada de um pensamento causal que se encontra relacionado a cada operação das grandezas físicas e suas inerentes e possíveis fontes de erros experimentais (ibid., p. 160).

As reflexões colocadas por Laburú e Barros (2009) são importantes para o ensino de Ciências. Principalmente para professores no momento em que utilizam atividades práticas quantitativas em suas aulas, ou quando ocorre situação em que tenha de confrontar seus alunos com dados numéricos empíricos. A melhor compreensão dos elementos formativos do Paradigma Pontual contribui para o direcionamento mais seguro quando da construção do Paradigma de Conjunto e corrobora uma leitura mais crítica das investigações que utilizam os dois Paradigmas em suas interpretações.

Em sua investigação, Buffler et al. (2001) compararam as respostas dadas a nove questões de setenta alunos do primeiro ano de Ciência da Universidade de Cape Town, na África do Sul, a respeito da compreensão desses estudantes com relação à medição antes e após um curso de laboratório. Com o curso, os autores pretenderam fornecer aos alunos instruções referentes aos processos de medição, principalmente inerentes a coleta, processamento e comparação dos dados. Os resultados da pesquisa foram interpretados em termos do Paradigma Pontual e do Paradigma de Conjunto. Antes, a maioria dos estudantes tinha uma visão imbricada com o Paradigma Pontual e, mesmo após as 36 horas de curso, permaneciam inconsistências nos raciocínios e ações inerentes ao processo de medição. Apenas um quarto dos estudantes apresentou evoluções em suas ideias pretendidas pela meta instrucional durante o processamento e a comparação dos dados. As metas estavam baseadas no Paradigma de Conjunto.

Em uma pesquisa mais recente, Buffler et al. (2009) confrontaram a visão que os estudantes possuem da natureza da ciência com a visão que possuem da natureza da medida científica. Foram investigados cento e setenta e nove alunos que responderam a um questionário composto de quatorze questões, das quais seis abordavam diferentes assuntos envolvendo a natureza e a origem do conhecimento científico, o papel da experimentação na produção de conhecimento, a relação entre experimento científico e teoria e se cientistas usam o método científico ou a criatividade na construção de suas hipóteses ou teorias. As outras oito questões investigavam a visão a respeito da medida científica e tinham como foco o cotejo de medidas cotidianas com as científicas durante a coleta, o processamento e a comparação dos dados. Na análise feita das seis questões a respeito da visão da natureza da ciência, as opiniões dos alunos foram classificadas de acordo com quatro perfis, não hierárquicos, estabelecidos pelos pesquisadores: os modeladores, os experimentadores, os examinadores e os descobridores. O perfil dos *modeladores* (ibid, p. 1144) é caracterizado pela noção de que hipóteses e teorias científicas são construídas por cientistas e de que evidências experimentais são necessárias para validarem teorias. Na construção de hipóteses ou teorias e durante a experimentação, os cientistas usam de sua criatividade. O perfil dos *experimentadores* agrupa opiniões dos alunos que acreditam que os cientistas podem até usar a evidência experimental para testar hipóteses, mas para isso utilizam estritamente o método científico, não a criatividade, e os resultados dos

experimentos, quando realizados rigorosamente, levam preferência sobre as teorias. No perfil dos *examinadores*, os alunos acreditam que as leis da natureza são fixas e estáveis, estão ali para serem descobertas e não construídas pelos cientistas. A atividade experimental é importante, mas não suficiente para formular hipóteses ou teorias. Os cientistas podem utilizar tanto o método científico quanto sua imaginação. Por fim, o perfil dos *descobridores* reúne a opinião dos alunos de que, embora acreditem que as leis na natureza estão lá para serem descobertas (e não construídas) pelos cientistas, apenas experimentos em que se empregue o método científico podem ser usados para gerar leis ou teorias. Em caso de conflito entre dados experimentais e uma teoria previamente estabelecida, ambos devem ser checados (op. cit., p. 1144).

No trabalho supracitado, os autores utilizaram o modelo de Paradigma Pontual e Paradigma de Conjunto (BUFFLER et al., 2001) para interpretar as respostas que tratavam da natureza da medição científica. Identificaram que 73% dos alunos da amostra tinham opiniões associadas ao Paradigma Pontual, enquanto apenas 20% tinham opiniões associadas ao Paradigma de Conjunto. O perfil dos Examinadores possui o maior percentual dos estudantes pertencentes ao Paradigma Pontual. Verificaram que alunos com a visão da natureza da ciência dominada pela crença de que as leis são descobertas pelos cientistas são mais propensos a ter uma visão da medida científica caracterizada pela existência de um valor verdadeiro. O erro de medida ocorre apenas quando são cometidos enganos no processo de medição e, portanto, surge a ideia de que a incerteza no resultado pode ser reduzida a zero. Por outro lado, os estudantes com uma visão da natureza da ciência dominada pela crença de que as teorias científicas são construídas por cientistas, a partir de observações e validadas experimentalmente, são mais propensos a ter a noção de que a medida científica é incerta, e como a incerteza não se reduz a zero, os dados observados precisam se adequar a um modelo estatístico compatível com a teoria. A compreensão adequada da medida científica depende do entendimento da natureza da incerteza da medição.

Assim, pela literatura científica, apesar do reconhecimento da importância das atividades experimentais no ensino de Física, constata-se que muitos alunos carregam representações problemáticas ao realizarem e interpretarem medidas (ALLIE et al., 1998; KANARI; MILLAR, 2004; MARINELI; PACCA, 2006).

Os diferentes estudos descritos aqui apontam para uma convergência em suas conclusões: estudantes de Ciências acreditam fortemente na existência de um valor verdadeiro, único. Mesmo após passarem por instruções intensivas de laboratório (BUFFLER et al., 2001; SÉRÉ et al., 1994), a maior parte dos alunos investigados ainda acredita que uma única medida é suficiente e que há um valor verdadeiro que pode ser encontrado. Cada medida é independente uma das outras e várias medições não se relacionam entre si. Apresentam pouca ou nenhuma mudança em seu ponto de vista. Tais alunos apresentam raciocínios do Paradigma Pontual que comprometem momentos de instruções pedagógicas, já que suas crenças estão impregnadas de dificuldades que se opõem à teoria científica. O modelo de Paradigma de Buffler (2001) foi utilizado para interpretar muitos estudos e constitui uma ferramenta importante para classificar e explicar as ações e os raciocínios dos alunos durante o processo de medição, principalmente na coleta, processamento e comparação dos dados. Daí a relevância da utilização de metodologias que levem os alunos a superarem dificuldades conceituais e procedimentais durante as atividades experimentais que contemplem medição, corroborando características que conduzam a entendimentos pertencentes ao Paradigma de Conjunto.

1.5 PERSPECTIVA KUNHIANA PARA O ENSINO

Millar (1987) contrapõe duas visões díspares em relação ao papel das atividades experimentais para o ensino de Ciências. Uma dessas visões refere-se à abordagem do laboratório didático como meio para descobrir e validar teorias científicas assim como para introduzir os estudantes nos métodos da ciência. Outra visão presume o laboratório didático como um meio para se discutirem os resultados experimentais em um processo de negociação de significados. O autor desfere críticas à imagem popular de Ciência, aquela em que os conhecimentos são descobertos no laboratório por experimentos e que lhes garante a validade, a fidedignidade e a confiança dos experimentos escolares, guiados por estratégias de ensino por descoberta ou hipotético-dedutivas. Essa imagem é criticada em razão dos resultados incertos gerados pelos experimentos. Questiona também se uma demonstração particular de certo fenômeno realmente deixa claro o assunto ou é capaz de ajudar o aprendiz a construir significados. Em analogia à ideia kunhiana de paradigma na Ciência, Millar defende que realizar um experimento escolar é expor

um paradigma e não descobrir um conhecimento ou testar hipóteses (MILLAR, 1987, p. 114). São criticáveis as concepções comumente aceitas de que os dados numéricos confirmem ou sirvam para, indutivamente, obter as teorias científicas (KUHN, 1977, p. 229), uma vez que a concordância entre teoria e experimento sugira somente uma concordância razoável, já que muitas vezes a aplicação de uma teoria física implica alguma aproximação, portanto não se espera que a teoria produza resultados totalmente precisos ou exatos, mas uma concordância possível com os dados (ibid., p. 229 e 231).

Para Kuhn, muita teoria é necessária antes de os resultados da medição obterem sentido, afirma até mesmo que, no momento em que toda teoria está disponível, a lei muito provavelmente já foi conjecturada sem que tenha havido recorrência à medição (p. 247). A teoria tem um papel importante na redução da dispersão dos dados (p. 241). Os cientistas buscam forçar a própria natureza a se conformar com a teoria, em vez de lutar contra os fatos, visto acreditarem na teoria. As leis da natureza raramente são arquitetadas apenas por inspeção dos resultados de medições feitas, sem que haja um conhecimento prévio dessas leis, porque as medidas apresentam grandes dúvidas e incertezas.

Por vezes, há a necessidade de os resultados numéricos serem aprimorados por meio do requinte de técnicas e instrumentos que precisam ser ainda inventados (KUHN, 1977). Quando isolados de um paradigma que os analise e os encaixe, os dados agregam dúvidas e são dúbios. Algumas leis empíricas, como de Hooke ou Boyle-Mariotte, são descobertas improváveis, diz ele. Em contrapartida a isso, Kuhn entende que toda medição depende de um paradigma que a guie, pois assim é possível o cientista se orientar na tomada de decisão de como e do que medir e de qual valor numérico obter. No entanto, em função das medidas, o refinamento do paradigma recai, ou por meio do aprimoramento das técnicas, do aprimoramento ou elaboração de instrumentos, ou até mesmo por aproximações teóricas. Desse modo, as medidas são geradoras de crise do paradigma ou determinam, nessa situação, a escolha entre teorias, confirmando uma delas (ibid, p. 258).

Assim como para Kuhn (1977, p. 232) o treinamento do cientista abarca aprender um paradigma e solucionar problemas “exemplares”, tal qual uma solução teórica ou experimental, ou mesmo um esquema ou aplicação; para Millar, o emprego dos experimentos escolares de Ciências também deveriam ser utilizados

como implicações de paradigmas (Millar, 1987, p. 114). O último autor atenta que a existência de desacordos a respeito dos significados e interpretações da evidência é uma condição normal da Ciência e da dificuldade em extrair um conhecimento da natureza. De maneira geral, após uma intensiva discussão pela comunidade científica é que se obtém o assentimento de tal conhecimento. Por comparação, Millar entende existir a necessidade de priorizar e dedicar um maior tempo para negociar, discernir e avaliar os resultados de um experimento escolar, frente à teoria ensinada, em vez de consumir excessivo tempo a executar a atividade empírica (ibid, p. 115). Uma maneira de observar se um aprendiz efetuou corretamente um experimento é inspecionar se os seus resultados obtidos estão em consonância com o esperado da teoria aprendida. Nesse sentido, a maior parte do trabalho de laboratório na escola deveria se concentrar na aplicação da teoria, o que Gil-Pérez (1986) entende como uma perspectiva baseada na ciência normal⁴ de Kuhn.

⁴ A ciência normal não objetiva evidenciar novas espécies de fenômeno, aqueles que não se adaptam aos limites do paradigma muitas vezes nem são vistos por ele (Kuhn, 1977).

2 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo delinaremos os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa. Iniciamos com o problema da pesquisa, seguimos com a sua natureza, público-alvo, atividades experimentais propostas e finalizamos com a coleta e o registro dos dados.

2.1 PROBLEMA DA PESQUISA

As considerações precedentes permitem perceber a relevância da medida nos experimentos escolares, levando em conta que ela toma parte das atividades pedagógicas, independentemente de serem utilizadas pelo professor para decidir entre teorias, testar ou até verificar uma teoria específica no sentido de Millar. O processo de medição tem papel fundamental no ensino em evitar as dificuldades enfrentadas por alunos durante a interpretação dos dados, tornando-os conscientes da existência de incertezas associadas a todo processo de medição do qual esses dados advêm. Os estudantes devem entender a importância de diminuir os erros experimentais a fim de evitar que tais erros mascarem a ausência de covariação entre grandezas físicas para que suas conclusões possam ser sustentadas de maneira segura. Um enfrentamento adequado dessas considerações implica na atenuação das dispersões experimentais, possibilitando que os alunos realizem medidas com maior qualidade.

Diante disso, em atividades experimentais em que são necessárias medições, as orientações pedagógicas podem ser prejudicadas por interpretações errôneas por parte dos alunos quando necessitam tirar medidas para sustentar, interpretar uma determinada lei ou fenômeno. Por vezes, interpretações oriundas de dados errôneos opõem-se às ideias científicas. Assim, destacamos ser fundamental que no processo educativo se valorizem atividades experimentais que têm um apelo para o entendimento dos procedimentos relativos às medições (coleta, processamento e comparação), aqui focando principalmente o ensino de Física.

Com essa preocupação em mente, propusemo-nos a investigar uma estratégia de ensino⁵ com o objetivo de apurar se estudantes do ensino médio obtêm medidas experimentais com melhor acurácia do que aqueles que não ficam submetidos a ela ao realizarem atividades experimentais. A estratégia a que nos referimos é estabelecida por aproximação ou analogia com a ideia proposta por Millar (1987), cuja intenção é expor um paradigma, de modo que conhecimentos escolares aprendidos cumpram essa função. Nossa proposta, no entanto, faz tão somente que o aluno possua uma expectativa já conhecida do valor da medida, ou seja, que ele saiba previamente o valor a ser encontrado no experimento. Com relação ao objetivo pedagógico, nossa proposta corresponde, na essência, à de Millar, visto que os cientistas, quando expostos a um paradigma, procuram forçar a natureza dos fatos. Em vez de lutar contra, objetivam que os fatos se modulem ao paradigma. Para Millar, baseado na visão kuhniana, a interpretação dos resultados de um experimento escolar, para que seja coerente, deve submeter-se ao domínio e previsão do contexto teórico aprendido pelo aluno antes da realização da atividade experimental. Isso determina que, à luz de uma compreensão teórica prévia, no caso desta proposta, de uma expectativa antecipada do resultado, o experimento deve se ajustar para que seus valores apareçam.

No ensino, as atividades experimentais quantitativas deveriam ser repensadas para proporcionarem aos alunos interpretações dos dados que exibam e sustentem suas conclusões a respeito de um determinado fenômeno. Diversificar orientações didáticas com diferentes objetivos, como replicar experimentos, testar hipóteses, controlar variáveis ou exercitar um paradigma, demanda o confronto ou a comparação entre teoria e evidência, através do processamento dos dados quantitativos a fim de utilizá-los para suportar uma conclusão. Saber trabalhar e interpretar medidas são condições fundamentais para utilizar essas orientações.

Como vimos, um dos objetivos mais declarados das atividades experimentais é o de ensinar aos alunos os processos da ciência. Os aspectos do entendimento a respeito de medições nas atividades experimentais têm sido abordados em pesquisas há alguns anos (ALLIE et al. 1998; BUFFLER, et al. 2001;

⁵ Aqui o uso do termo “estratégia de ensino” refere-se aos meios utilizados por professores no desenvolvimento do processo de ensino, isso de acordo com cada atividade proposta e os resultados pretendidos. Segundo Anastasiou e Alves (2004), as estratégias de ensino visam à obtenção de objetivos, para tanto, é necessário ter claro onde se pretende chegar. Assim os objetivos norteadores desse processo devem ser explícitos para os sujeitos envolvidos.

LUBBEN; MILLAR, 1996; SÉRÉ, et al., 1994). Em termos gerais, tais pesquisas apontam uma série de dificuldades encontradas por alunos no trato de medições. Na literatura internacional e principalmente nacional, são limitadas as pesquisas que têm a preocupação de propor encaminhamentos para enfrentar a problemática ligada à medida trazida para a sala de aula por estudantes (LABURÚ, 2010; MARINELI; PACA, 2006; SALES, 2009).

O presente trabalho propõe dois problemas complementares de pesquisa. O primeiro investiga se estudantes submetidos a uma estratégia de ensino em que o valor da medida experimental é previamente conhecido, obtêm melhor acurácia do que aqueles que se submetem a uma estratégia em que a medida é desconhecida. O segundo avança com problemática de igual importância, investiga se comportamentos e atitudes ligados aos procedimentos experimentais próximos ao Paradigma de Conjunto são estimulados quando se emprega a primeira estratégia em oposição à segunda. Uma vez que experimentos quantitativos envolvem uma coleção de procedimentos experimentais ligados ao Paradigma de Conjunto que se contrapõem aos procedimentos intuitivos do Paradigma Pontual, comuns em alunos iniciantes no assunto, e dada a necessidade da superação do segundo em direção ao primeiro paradigma, condições de ensino que auxiliem nessa superação devem ser incentivadas. Dentro, então, de uma motivação para uma aprendizagem com maior significado das questões de medição e de um ensino direcionado para esse objetivo, as problemáticas somadas têm implicações diretas no ensino de atividades experimentais de Física.

A pesquisa realizada neste estudo partiu da hipótese de que os alunos que conhecem previamente o valor da medida a ser encontrada dependem mais tempo na execução e discussão com os pares e professor sobre os resultados encontrados, repetem medidas, são mais minuciosos no manuseio do equipamento. Essas características podem contribuir para o avanço de ideias do Paradigma Pontual que levem à compreensão de ideias presentes no Paradigma de Conjunto.

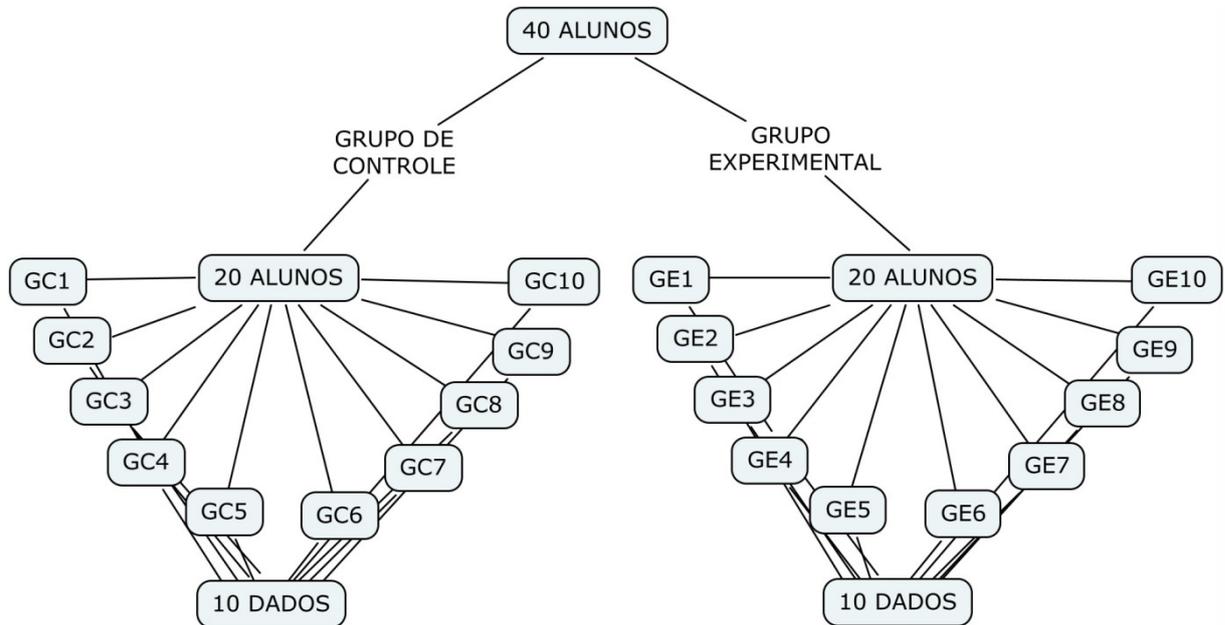
2.2 NATUREZA DA PESQUISA

Tendo em vista as características dos problemas a serem pesquisados (Estudantes submetidos a uma estratégia de ensino em que o valor da medida experimental é previamente conhecido, obtêm melhor acurácia do que aqueles que se submetem a uma estratégia em que a medida é desconhecida? Comportamentos e atitudes ligados aos procedimentos experimentais próximos ao Paradigma de Conjunto são estimulados quando se emprega a primeira estratégia em oposição à segunda?), optamos por analisar o primeiro através de uma abordagem quantitativa em que os dados obtidos foram tratados de forma estatística através do teste *t* de Student, enquanto o segundo segue uma abordagem qualitativa caracterizada pela análise dos comportamentos e atitudes dos estudantes ao realizarem a atividade experimental proposta.

2.3 AMOSTRA DA PESQUISA

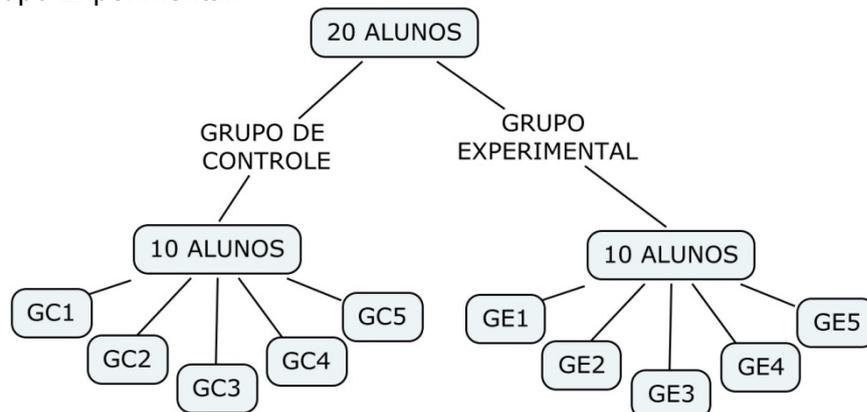
As atividades propostas nesta pesquisa aconteceram em dois momentos. No primeiro, participaram quarenta alunos com idades entre quatorze e dezesseis anos, do primeiro ano diurno do ensino médio de um colégio estadual da cidade de Colorado – PR. Os alunos formaram dois grupos – Grupo Experimental (GE) e Grupo de Controle (GC) – com vinte alunos cada um, agrupados de acordo com critérios estabelecidos por eles, como, por exemplo, grau de afinidade. Em seguida, esses grupos foram divididos em dez subgrupos contendo dois alunos cada um, denominados GE1,..., GE10 e GC1,..., GC10. Os dez subgrupos que realizaram primeiramente as atividades foram denominados de GCs e os dez seguintes, GEs.

Figura 1 - Divisão dos vinte grupos no primeiro momento. GC: Grupo de Controle e GE: Grupo Experimental.



No segundo momento da pesquisa, participaram outros vinte alunos com a mesma faixa etária, do mesmo colégio e série dos quarenta alunos do primeiro momento. Obedecendo à dinâmica anterior, formaram cinco GCs (GC1, GC2,..., GC5) e cinco GEs (GE1, GE2,..., GE5). Os alunos dos GCs e dos GEs realizaram a mesma atividade proposta no primeiro momento, utilizaram os mesmos materiais e foram expostos às mesmas situações dos alunos que realizaram a atividade anteriormente.

Figura 2 – Divisão dos cinco grupos no segundo momento. GC: Grupo de Controle e GE: Grupo Experimental.



Em todas as atividades propostas, tanto no primeiro quanto no segundo momento, os alunos dos GEs foram submetidos à estratégia de ensino investigada nesta pesquisa, ou seja, eles sabiam antecipadamente o valor da medida a ser encontrada experimentalmente. Os alunos dos GCs realizaram as mesmas atividades propostas aos GEs, porém desconheciam os valores das medidas a serem encontradas. Todos os alunos foram instruídos para que não comunicassem aos demais grupos os resultados experimentais obtidos durante a realização das atividades desenvolvidas.

2.4 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS PROPOSTAS

As atividades experimentais propostas nesta pesquisa foram planejadas para serem simples, fáceis de montar e possibilitarem a utilização de materiais de baixo custo, como bola de bilhar e óleo de cozinha, de maneira a não desviar a atenção dos alunos em aspectos instrumentais ou em habilidades necessárias às suas realizações. Realizamos o cálculo da densidade de um óleo de soja de cozinha e a aceleração da gravidade local. As mesmas atividades foram realizadas pelos GCs e GEs.

Atividade 1: *Densidade de um óleo de soja de cozinha.*

A densidade absoluta (d) de uma substância pura ou de qualquer outro tipo de matéria é estabelecida pela relação entre sua massa (m) e seu volume (v): $d = \frac{m}{v}$. A densidade é uma propriedade específica de cada material e determina a quantidade de matéria que está presente em uma unidade de volume.

Na atividade desenvolvida utilizaram-se óleo de soja de cozinha, béqueres, tubos de vidro e uma balança de precisão de décimos de grama. Os alunos dos GCs e GEs foram instruídos previamente a como utilizar a balança para determinação da massa e medir o volume do óleo utilizando um béquer. Foram instruídos a respeito de como efetuar a leitura do volume, mantendo a altura dos olhos na indicação do volume marcado no béquer. A quantidade de óleo utilizada

ficou a critério de cada um. Também foram instruídos a utilizarem a expressão $d = \frac{m}{v}$ para calcular a densidade do óleo de soja utilizado.

Os GEs experimentais foram informados a respeito do valor tabelado da densidade do óleo: $\mu = 0,9166\text{g/ml}$. Dissemos a eles que este valor foi fornecido pelo fabricante e que eles tinham o desafio de verificar se o óleo utilizado na atividade experimental mantinha essa especificação.

A atividade foi realizada pelos subgrupos separadamente e, não foi limitado o tempo. Todos receberam instruções iniciais do funcionamento da balança. Durante a realização da atividade, algumas dúvidas surgiram e foram esclarecidas pelo professor. O volume do óleo a ser medido foi escolhido pelos subgrupos, por isso algumas medidas tiveram o mesmo volume.

Atividade 2: *Cálculo da aceleração da gravidade local.*

Para desenvolver a atividade, foram entregues um pêndulo simples, confeccionado por um barbante pouco extensível, e uma bola de bilhar, fixada em um suporte universal com garra. Foram entregues também aos alunos uma trena para que medissem o comprimento do fio, um paquímetro para medirem o diâmetro da bolinha e um cronômetro digital com precisão de centésimos de segundos para a tomada do tempo.

Através da medida do comprimento e do período do pêndulo, os estudantes foram instruídos a contarem dez oscilações, para melhorar a medida do tempo de uma única oscilação, dividindo posteriormente o tempo total por dez. Os alunos dos GCs e GEs foram orientados a realizarem uma pequena amplitude de oscilação e determinar o período de oscilação com a cronometragem do tempo (Δt) gasto para as dez (N) oscilações completas, calculando o período (T) pela razão $T = \frac{\Delta t}{N}$.

O valor da aceleração da gravidade local foi encontrado pela expressão:

$$g = \frac{4\pi^2 l'}{T^2},$$

em que o comprimento l' do pêndulo se estende da

suspensão ao centro de gravidade do sistema oscilante, isto é, o centro de

gravidade do conjunto, e o T corresponde ao período de oscilação do pêndulo. Os alunos dos GEs foram informados de que o valor teórico da aceleração da gravidade local era de $g = 9,785 \text{ m/s}^2$.

Os subgrupos não tiveram limite de tempo para realizarem a atividade. Foi-lhes dada a liberdade de repetir ou não a experiência, a possibilidade de selecionarem ou não uma medida entre outras e até mesmo fornecer uma medida final por meio de uma média entre algumas medidas consideradas. Nesse momento da pesquisa, o objetivo foi verificar a acurácia das medidas retiradas pelos alunos.

2.5 OBTENÇÃO E REGISTRO DOS DADOS

A obtenção dos dados ocorreu em dois momentos. No primeiro, participaram das duas atividades experimentais propostas os quarenta alunos descritos na seção 2.2, subdivididos em dez GCs e dez GEs. Tanto a atividade 1 quanto a atividade 2 ocorreram no período da tarde, para não influenciar o andamento das demais aulas, visto não limitarmos o tempo para a realização das atividades e também por haver um fluxo de pessoas reduzido no colégio. As atividades ocorreram no laboratório de Ciências, local em que os alunos receberam instruções prévias de como utilizar os materiais e proceder na realização das atividades experimentais.

As atividades 1 e 2 ocorreram em sete encontros realizados em dias distintos, com duração de aproximadamente duas horas e meia cada um. Dos três primeiros encontros, participaram separadamente os dez GCs, realizando primeiro a atividade 1 e em seguida a atividade 2. Os outros quatro encontros tiveram as mesmas características dos anteriores, participando destes os dez GEs. Os subgrupos realizaram individualmente as atividades. Os resultados obtidos por eles foram anotados em folhas de papel e entregues ao professor ao concluí-las.

Para o segundo momento, realizamos apenas a atividade experimental da densidade do óleo de cozinha com cinco GCs e cinco GEs, descritos na seção 2.3. Os dados coletados com esses grupos foram satisfatórios e capazes de responder à problemática proposta. Ocorreram três encontros com duração de aproximadamente duas horas e meia cada um. No primeiro, participaram

os alunos dos GCs e nos dois seguintes, os dos GEs. Todos os participantes receberam as mesmas instruções dadas aos alunos que realizaram as atividades anteriormente.

Cada subgrupo realizou individualmente a atividade. A videogravação dos encontros supracitados e as anotações de campo, feitas no instante em que a atividade acontecia, foram os mecanismos de coleta de dados. Os dados coletados para as análises individuais dos resultados dos estudantes resultaram das transcrições das videogravações. O objetivo foi observar os comportamentos e atitudes dos alunos, como, por exemplo, a repetição ou não de medidas, o tempo despendido na realização do experimento, motivação na obtenção de um resultado de medição. Na análise dos dados, os comentários dos alunos são apresentados sem correções gramaticais. Quando necessário, foram retiradas algumas palavras ou sentenças sem pertinência para o objetivo desta pesquisa.

Para a apresentação das transcrições, que se encontram em anexo, as falas dos alunos de cada subgrupo foram organizadas em turnos. Se houvesse interrupção ou se iniciassem uma nova enunciação, eram divididas. A primeira coluna da tabela das transcrições indica o tempo do término de cada fala, tendo como referência o relógio da câmera digital usada nas gravações. A segunda coluna indica o turno em que a fala aconteceu, numerado no início do diálogo a partir de 001. Na terceira coluna, está a fala do aluno, indicada por uma letra e um número. Finalmente a quarta coluna relaciona acontecimentos, indicados pela numeração entre parênteses a partir de um (1), que consideramos relevantes como, por exemplo, observações, gestos e ações que podem ajudar na interpretação das falas e resultados apresentados na coluna três.

O professor que orientou os alunos durante a execução das atividades propostas oportunizou diálogos, questionamentos e reflexões, mas não teve como objetivo o ensino de conceitos da teoria dos erros, como flutuações, médias e desvios. Aos alunos foi proposto encontrar o resultado da medida experimental, e o pesquisador, através das transcrições das videogravações das atividades, analisou seus comportamentos ligados aos procedimentos experimentais.

3 ANÁLISE DOS DADOS

Com o objetivo de responder os problemas da pesquisa, dividimos a análise em três seções. A primeira segue uma abordagem quantitativa em que os dados obtidos pelos GCs e GEs nas atividades experimentais 1 e 2 foram tratados de forma estatística através do teste *t* de Student. Na segunda seção, analisamos de maneira qualitativa por que os estudantes que conhecem previamente o valor da medida a ser obtida alcançaram-na com melhor acurácia. Apresentamos as análises individuais de cada subgrupo (GCs e GEs), evidenciando os comportamentos e atitudes deles durante a realização da atividade da densidade do óleo de soja de cozinha. Finalmente, na terceira, apresentamos uma análise conjunta das duas seções anteriores, analisando o tempo gasto na execução do experimento, as discussões e reflexões dos dados obtidos.

3.1 ABORDAGEM QUANTITATIVA

3.1.1 Apresentação dos Dados

Atividade 1 – *Cálculo da densidade do óleo de soja*

Os subgrupos realizaram o cálculo da densidade do óleo utilizando a expressão $d = \frac{m}{v}$, e os valores que declararam estão registrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores das medidas para a densidade do óleo declarados pelos GCs e GEs.

Densidade do óleo em g/ml										
GC	0,8823	0,9223	0,8918	0,9768	0,8215	0,9245	0,882	0,8865	0,8915	0,8895
GE	0,8858	0,9273	0,9121	0,906	0,9128	0,9033	0,915	0,9158	0,896	0,9175

Atividade 2 – Cálculo da aceleração da gravidade local

Os alunos dos GCs e GEs realizaram pequenas oscilações no pêndulo, nas quais usaram o cronômetro para encontrar o tempo (Δt) gasto para as dez (N) oscilações completas. Feito isso, calcularam o período (T) pela razão $T = \frac{\Delta t}{N}$ e os valores obtidos foram registrados nas Tabelas 3 e 4:

Tabela 3 – Valores experimentais para o Período (T) – Grupo de Controle.

GRUPO DE CONTROLE			
GC	Comprimento l (m)	Tempo de dez oscilações (s)	Período T (s)
GC ₁	1,325	20,84	2,084
GC ₂		25,59	2,559
GC ₃		23,50	2,350
GC ₄		22,21	2,221
GC ₅		21,63	2,163
GC ₆		23,91	2,391
GC ₇		22,44	2,244
GC ₈		23,99	2,399
GC ₉		23,65	2,365
GC ₁₀		22,56	2,256

Tabela 4 – Valores experimentais para o Período (T) – Grupo Experimental.

GRUPO EXPERIMENTAL			
GE	Comprimento l (m)	Tempo de dez oscilações (s)	Período T (s)
GE ₁	1,325	23,16	2,316
GE ₂		23,12	2,312
GE ₃		23,06	2,306
GE ₄		23,13	2,313
GE ₅		23,44	2,344
GE ₆		23,15	2,315
GE ₇		23,00	2,300
GE ₈		23,22	2,322
GE ₉		23,11	2,311
GE ₁₀		23,10	2,310

De acordo com o comprimento do fio (l) e o período de oscilação (T) do pêndulo obtido, os alunos dos GCs e GEs calcularam o valor da aceleração da gravidade local utilizando a equação $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$. Os valores obtidos estão registrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores das medidas da aceleração da gravidade declarados pelos GCs e GEs.

Aceleração da gravidade em m/s^2										
GC	12,0443	7,9879	9,4720	10,6042	11,1805	9,1499	10,3880	9,0890	9,3522	10,2777
GE	9,7521	9,7859	9,8369	9,7774	9,5205	9,7605	9,8883	9,7018	9,7944	9,8028

Dos valores das medidas declaradas pelos subgrupos na Atividade 1 e 2, foram retirados os desvios absolutos (d) em relação aos valores teóricos y_v estabelecidos para cada atividade experimental. O desvio absoluto foi obtido de acordo com a expressão: $d = y_v - y$, seguindo as etapas necessárias ao tratamento estatístico relativo à diferença destes desvios absolutos encontrados de amostras independentes. Foi utilizado o programa IBM SPSS 20 para o cálculo do teste t . A hipótese H_0 é de que as médias dos desvios do GC e do GE em relação ao valor teórico das atividades 1 e 2 são iguais, e a hipótese H_1 é de que essas médias são diferentes. O teste F ($\alpha = 0,05$)⁶ indica uma heterogeneidade dos valores fornecidos nas duas atividades, admitindo, assim, prosseguir com o uso particular do teste t para variâncias não homogêneas.

Na Tabela 6 estão os valores declarados pelos GCs e GEs para o valor da densidade do óleo de soja e os desvios absolutos desses valores em relação ao valor teórico que, de acordo com o fabricante, é de 0,9166 g/ml.

⁶ Constatadas as distribuições normais.

Tabela 6 – Valores fornecidos e desvios absolutos das medidas dos GCs e GEs para a densidade do óleo.

Valores das medidas para a densidade do óleo em g/ml										
GC	0,8823	0,9223	0,8918	0,9768	0,8215	0,9245	0,882	0,8865	0,8915	0,8895
GE	0,8858	0,9273	0,9121	0,906	0,9128	0,9033	0,915	0,9158	0,896	0,9175
Desvios absolutos dos valores das medidas em relação ao valor teórico (0,9166 g/ml)										
GC	0,0343	0,0057	0,0248	0,0602	0,0951	0,0079	0,0346	0,0301	0,0251	0,0271
GE	0,0308	0,0107	0,0045	0,0106	0,0038	0,0133	0,0016	0,0008	0,0206	0,0009

O teste t uni-caudal ($t_{\text{cal}} = -2,806$; $p\text{-value} = 0,008$; $\alpha = 0,01$) aplicado para amostras independentes da tabela 6 permite rejeitar H_0 e indicar que há uma diferença significativa entre a média dos desvios absolutos dos subgrupos do GC ($M = 0,03449$) e a média dos desvios absolutos dos subgrupos do GE ($M = 0,00976$), com uma confiança de 99% (Anexo K).

Na Tabela 7, estão os valores declarados pelos GCs e GEs para a aceleração da gravidade local e os desvios absolutos dos valores dessas medidas em relação ao valor teórico, que, no caso dessa atividade, é de $9,7851 \text{ m/s}^2$.

Tabela 7 – Valores fornecidos e desvios absolutos das medidas dos GCs e GEs para a aceleração da gravidade local.

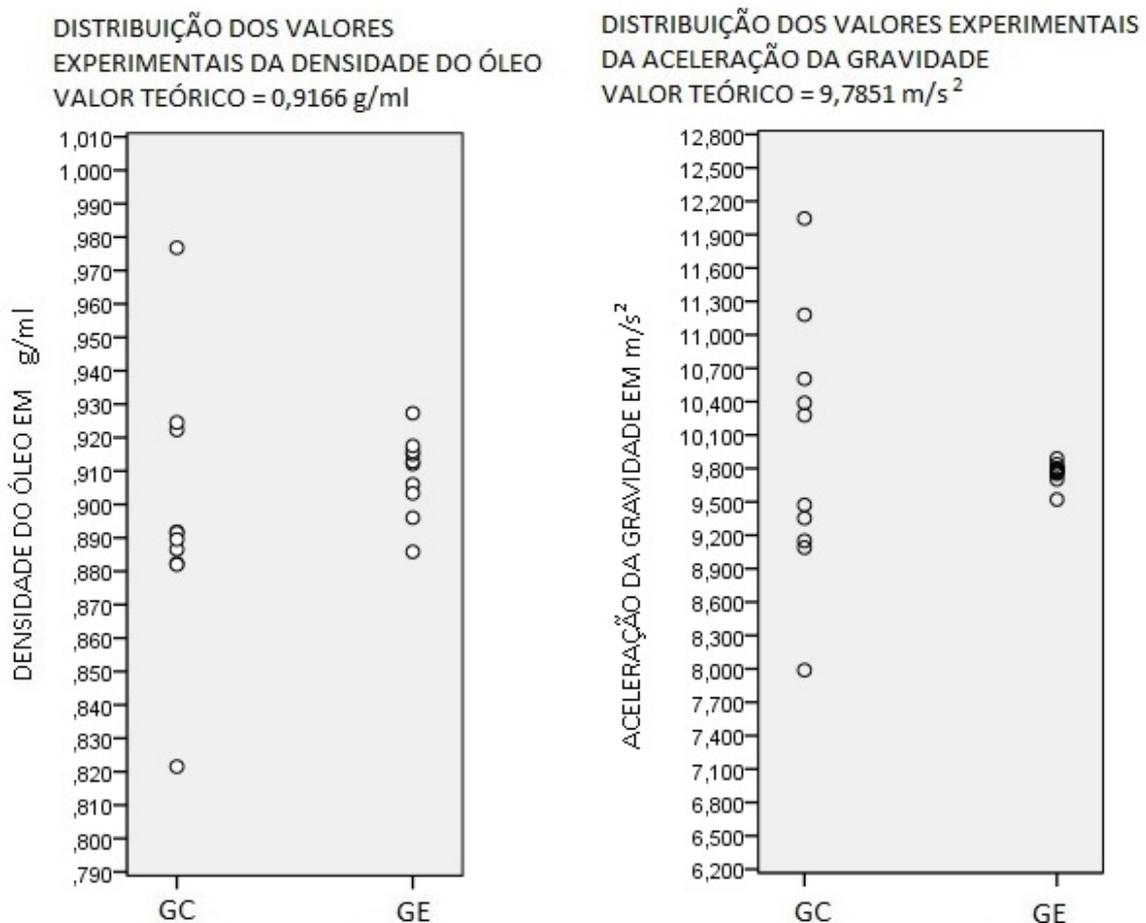
Valores das medidas para a aceleração da gravidade local em m/s^2										
GC	12,0443	7,9879	9,4720	10,6042	11,1805	9,1499	10,3880	9,0890	9,3522	10,2777
GE	9,7521	9,7859	9,8369	9,7774	9,5205	9,7605	9,8883	9,7018	9,7944	9,8028
Desvios absolutos dos valores das medidas em relação ao valor teórico ($9,7851 \text{ m/s}^2$)										
GC	2,2592	1,7972	0,3131	0,8191	1,3954	0,6352	0,6029	0,6961	0,4329	0,4926
GE	0,033	0,0008	0,0518	0,0077	0,2646	0,0246	0,1032	0,0833	0,0093	0,0177

O teste t uni-caudal ($t_{\text{cal}} = -4,267$; $p\text{-value} = 0,001$; $\alpha = 0,01$) para amostras independentes da Tabela 7 permite rejeitar H_0 , indicando que há uma diferença significativa entre a média dos desvios absolutos dos subgrupos GC ($M = 0,9444$) e a média dos desvios absolutos dos subgrupos do GE ($M = 0,0596$), com uma confiança de 99% (Anexo L).

Os resultados experimentais para a atividade 1 podem ser expressos por: $d = (0,897 \pm 0,013 \text{ g/ml})$ para o GC e $d = (0,9092 \pm 0,0037 \text{ g/ml})$ para o GE. O teste t ($t_{\text{cal}} = -0,940$; $p\text{-value} = 0,360$; $\alpha = 0,01$) para essas médias (Anexo M) indica que não há diferença entre GC e GE, porém nota-se que o GE apresenta maior acurácia e precisão na média dos resultados experimentais, em relação ao valor teórico da densidade do óleo, do que o GC. Na atividade 2, os resultados experimentais podem ser expressos por: $g = (9,98 \pm 0,37 \text{ m/s}^2)$ para o GC e $g =$

($9,762 \pm 0,031 \text{ m/s}^2$) para o GE. Neste caso, o teste t ($t_{\text{cal}} = 0,516$; $p\text{-value} = 0,612$; $\alpha = 0,01$) para as médias (Anexo N) também indica que não há diferença entre as médias do GC e do GE. Entretanto, verifica-se que o GE apresenta maior acurácia e precisão em relação ao valor teórico da aceleração da gravidade do que o GC.

Figura 3 – Distribuição dos valores experimentais da densidade do óleo e da aceleração da gravidade dos GC e GE.



Na Figura 3, nota-se que, nas atividades 1 e 2 (densidade do óleo de soja e aceleração da gravidade local), a dispersão dos dados do GE em relação aos valores teóricos é menor, por isso apresenta maior precisão que o GC. Ainda, na atividade 1, a média dos dados experimentais do GE ($d = 0,9092 \text{ g/ml}$) se aproxima mais do valor teórico do que a média do GC ($d = 0,897 \text{ g/ml}$), bem como na atividade 2 (GE: $g = 9,762 \text{ m/s}^2$ e GC: $g = 9,98 \text{ m/s}^2$), por isso o GE apresenta maior acurácia do que o GC.

Os resultados encontrados nas duas atividades experimentais foram coincidentes, permitindo-nos afirmar, estatisticamente, que os alunos que possuem antecipadamente o valor da medida a ser encontrado em uma atividade experimental, estatisticamente, apresenta diferença significativa na média dos desvios absolutos em relação ao valor teórico, por isso obtêm melhor acurácia no dado experimental.

3.2 ABORDAGEM QUALITATIVA

Como vimos, a parte procedimental de atividades que envolvem experimentos quantitativos é indispensável no ensino de Ciências. O sentido que o aluno dá à medida é capaz de interferir em suas ações na tomada de decisões influenciando a maneira como ele coleta, compreende e dá sentido aos dados nas conclusões. Tais conclusões possivelmente serão melhores sustentadas quão melhor forem as medidas extraídas em um processo de medição. O melhor valor para uma grandeza que pode ser extraído de um conjunto de dados experimentais, deve ser o valor mais próximo possível do valor verdadeiro, e a acurácia descreve o quanto o valor experimental está próximo do valor verdadeiro de uma grandeza, ou seja, quanto menor for a soma dos erros estatísticos e sistemáticos, melhor é a acurácia do resultado. Portanto obter medidas com melhor acurácia significa admitir um comportamento que exige maior afinco com a atividade experimental tanto em termos de tempo, discussão, cautela quanto de entendimento a respeito do que se está fazendo.

À luz dos resultados obtidos na seção anterior, agora será mostrado por que estudantes que conhecem previamente o valor da medida tendem a obtê-la com melhor acurácia. Algumas hipóteses norteadoras, como já dissemos, são que os alunos despendem mais tempo na execução e discussão, com os pares e com o professor, dos resultados encontrados, repetem medidas e são mais minuciosos no manuseio dos equipamentos.

3.2.1 Apresentação dos Dados Individuais dos GCs

GC1

Os alunos do CG1 realizaram apenas uma medição para declararem o valor da densidade do óleo encontrado: 0,9 g/ml. Quando questionados no turno 027 pelo professor: *“Vocês estão satisfeitos com esse valor? Confiam nesse valor?”*, os alunos disseram: *“Acho que sim”*. Declararam concluído o processo de medição logo após obterem o valor de uma única medida, como se evidencia nos turnos 030 e 031: *“P: Concluíram vossa medição?”*, *“A1 e A2: Sim”*. O diálogo entre os alunos se limitou à maneira como utilizar a balança, os processos matemáticos utilizados para o cálculo da densidade e o volume do óleo a ser medido.

GC2

Os alunos realizaram duas medições para encontrarem a densidade do óleo. A segunda medição, porém, ocorreu não pelo fato de os alunos entenderem a necessidade de minimizarem erros ou realizarem a média diminuindo a incerteza, mas pelo primeiro valor encontrado para a densidade ter sido uma dízima periódica. Acharam “estranho” o resultado e decidiram realizar uma nova medição, como podemos observar quando interrogados a respeito do valor da densidade do óleo nos turnos de 018 a 024: *“A1: 0,8813333...”*. Ao serem questionados pelo professor se estavam satisfeitos com essa medida, disseram: *“A1: Ai, deu estranho”*; *“A2: Eu também acho que está errado isso aí”* (turno 021), e ainda continuam: *“A1: Eu acho que está meio estranho essa medida aqui”* (turno 022). Ao serem novamente questionados pelo professor: *“Por quê? Por exemplo.”* (turno 023), não souberam explicar, mas, no caderno de anotações em que realizaram os cálculos, apagaram as casas decimais que julgavam excedentes.

Os alunos não tinham justificativa para suas respostas e, por alguns segundos, ficaram sem ação, quando, então, no turno 025, A2 alerta que estava faltando um pouco de óleo no béquer *“...porque aqui está faltando um pouco, mas bem pouco também”*. Questionados pelo professor se isso interfere no resultado, os alunos alegaram que sim, mas não souberam justificar por quê. Após a realização

de nova medição e cálculos, no turno 037, A2 diz: “*Deu certo*”. Os alunos entusiasmaram-se por encontrarem um valor com apenas três casas decimais: “A1 e A2: *Deu 0,939*”. É possível inferir que, se os alunos tivessem encontrado esse valor ou um semelhante na primeira medição, teriam finalizado o processo de coleta de dados.

GC3

Os alunos realizaram duas medições para declararem o valor da densidade do óleo, porém entenderam essas medidas de maneira independente. No turno 022, quando questionados pelo professor a respeito de quanto deu o valor da densidade do óleo, A1 disse: “*Deu 0,903*”. P: “*Vocês estão satisfeitos com o valor da medida?*” (turno 027), imediatamente responderam: A1: “*Pode medir de novo?*” (turno 028). Os alunos acreditavam ter feito algo errado, por isso retiraram todo o conjunto (béquer+óleo) da balança e iniciaram o processo de medição novamente.

Demonstraram-se surpresos ao concluírem os cálculos e encontrarem outro valor para a densidade do óleo: A1: “*Certo. Nossa agora deu menor*” (turno 040). Repetiram os cálculos e declaram o valor para a densidade. A2: “*Deu 0,8755*” (turno 042). No turno 043, o professor questiona: P: “*Então, qual o valor da densidade?*” Os alunos não entram em concordância. A1 diz ser a primeira medida e A2 a segunda medida (turno 045 e 047). A2 alega que na primeira medição estava faltando um pouco de óleo para completar o volume (turno 47), mas A1 diz ter passado do nível. Como A1 foi mais contundente em sua decisão, conforme se observa no turno 053: A1: “*Eu continuo com essa daqui*”, A2 acabou por concordar com A1 e declaram que o valor para a densidade do óleo era o da primeira medição, mas sem justificativas para a escolha.

GC4

Para os alunos, apenas uma medição foi suficiente para declararem o valor da densidade do óleo. No turno 025, o professor pergunta qual o valor que encontraram e A2 responde: “0,8” (turno 026), questionando apenas em relação à quantidade de casas decimais que deveriam declarar. No turno 029, A1 diz: “... *Esse é o valor da densidade, $d = 0,8776$* ”, e ainda pergunta: “*Só isso professora?*” (turno

029). Para os alunos, o processo de medição está concluído. Não dialogaram a respeito dos procedimentos seguidos, nem do resultado obtido. No turno 030, quando o professor diz: “*Fecharam?*”, no sentido de acabaram, terminaram, A1 responde de maneira enfática: “*Sim*” (turno 31).

GC5

Semelhante ao comportamento dos alunos do GC1 e do GC4, para os alunos do GC5, uma única medição foi suficiente para expressar o valor da densidade do óleo que estavam procurando, como se evidencia no turno 027: A1: “*É só isso Professora?*”. Nesse momento, para os alunos, o processo de medição está concluído, pois se levantam imediatamente dos bancos em que estão, dando por encerrada a atividade. O próprio aluno A2 responde o questionamento do A1, no turno 027, dizendo: “*só*” (turno 028). Os alunos não refletiram a respeito dos procedimentos adotados e do resultado encontrado. Os diálogos se restringiram a como realizar os cálculos. As perguntas ao professor limitaram-se a alguns esclarecimentos a respeito de como operar a balança. Esse comportamento comprometeria um avanço em ideias pertencentes ao Paradigma de Conjunto por falta de dados.

3.2.2 Apresentação dos Dados Individuais dos GEs

GE1

Os alunos declararam nove medidas encontradas durante o processo de medição da densidade do óleo. Este comportamento é mais condizente com o Paradigma de Conjunto. Os alunos repetiram medidas em decorrência da estratégia de ensino aplicada. Por conhecerem antecipadamente o valor da medida experimental, não ficaram satisfeitos com o primeiro resultado obtido e optaram pela repetição da medição, como se observa no turno 016: A1: “*... Ah, 0,888. Ficou bem longe, hein*”. A2 concorda: “*É verdade*” (turno 017). Quando questionados no turno 018 pelo professor a respeito do que poderia ter acontecido, A1 responde: “*Ah eu*

acho que foi na hora de medir, eu acho! O volume do óleo será? Acho que na hora de medir não fica totalmente em cima do zero” (turno 019).

Os alunos refletem a respeito de fatores que provavelmente influenciaram o valor da medida. Na segunda medição obtiveram o valor 0,90875, como se observa no turno 026: A1: “...Agora aproximou mais um pouco. Deu 0,90875”. O diálogo estabelecido a seguir vai do turno 027 ao 030: P: “Vocês estão satisfeitos com esse resultado? Concordam?”. A1: “Ai, acho que não professora”. P: “O que pretendem fazer?”. A1: “Mede você agora ali na balança para ver, utilizando o mesmo material. Volta tudo”. Os alunos demonstram-se descontentes com o resultado da medida obtida, optam por realizar uma nova medição e obtêm o valor de: “A1: 0,909. Mas ficou muito longe” (turno 045). O professor questiona: “Vocês parariam aqui suas medições? O que fariam?” e A1 responde: “Ah, eu mediria de novo, **mais direitinho**. Começaria tudo de novo sem, com o óleo, tudo de novo” (turnos 047 e 048).

O fato de os alunos conhecerem antecipadamente o valor da medida produz uma mudança comportamental. Eles ficam mais atentos e cautelosos durante as próximas medições, como se evidencia nos termos em negrito dos turnos 050, 052, 053, 055: A1: “Não, pode medir. Aí mede esse aí **certinho**, tenta ver o **máximo possível lá**”; A1: “Esse aí já passou do outro. **Certinho** A2. **Vê lá**”; A2: “**Tá em ciminha**”; A2: “**Está, vem daqui para você ver**”. Por repetirem medições, os alunos perceberam a existência de erros que são inerentes ao processo de medição, como, por exemplo, nos turnos de 060 a 065: A1: “... Ah, passou”. P: “Quanto deu?”. A2: “0,930”. A1: “**Tá vendo como é a medida, toda hora muda na balança**”. P: “A medida de que vocês acham? Da balança?”. A2: “**É, porque o valor toda hora muda**”.

Os alunos permaneceram atentos às medições seguintes, como no turno 072: A1: “**Eu acho que passou bem pouquinho. Mas passou. Mas pode ser aqui também, sem o óleo, a medida que a gente tá vendo errado?**” e no turno 074: A1: “**Vai lá A2, mede lá. Vê certinho**”. Os alunos refletiam a respeito do que estavam fazendo: A1: “...Mexe com a caneta para não mexer muito. **Calma aí. Tá né? Certinho? Acho que não está não, olha aí. Deixa eu ver mais um**” (turno 080).

O diálogo e as reflexões a respeito dos resultados obtidos foram constantes entre os alunos, principalmente após as primeiras medições. Como o objetivo deles era encontrar o valor tabelado da densidade do óleo, mudaram o comportamento inicial em relação aos procedimentos adotados na medição, em

virtude de não concordarem com os valores inicialmente encontrados. À proporção que repetiam as medições, tornaram-se mais cautelosos e cuidadosos, comemorando o resultado final encontrado.

GE2

Os alunos realizaram doze medições para declarar o valor da densidade do óleo. Apesar de todas essas medidas, escolheram a que mais se aproximava do valor tabelado do óleo, desprezando as outras e tratando-as como medidas independentes, ideias pertencentes ao Paradigma Pontual, como se evidencia nos turnos de 203 a 205: A2: *“Ah, vamos deixar esse valor 0,913”*. A1: *“0,911 mais pertinho”*. A2: *“Vamos deixar 0,913”*. Durante a repetição das medidas, nota-se uma mudança de comportamento por parte dos alunos. Eles tornaram-se mais atentos, cautelosos e passaram a refletir nas suas atitudes. Por exemplo, no turno 047, conseguiram identificar que haviam trocado o valor do volume do óleo, obtendo um resultado que se afastava do valor esperado: A1: *“Por 400, ah é por 350, por isso deu errado”*. A2: *“Vamos começar tudo de novo”* (turno 048).

Quando o professor questiona o que poderia ter influenciado no resultado das medidas que fizeram, os alunos apontaram diferentes justificativas: A1: *“Acho que nós colocamos óleo a mais. Poderíamos diminuir o óleo para 350”* (turno 033). A1: *“Eu acho que é a massa do béquer”* (turno 051). A1: *“Eu acho agora que é a massa do óleo mais o béquer. Temos que diminuir”* (turno 071). A2: *“O óleo eu acho que não é. A massa do béquer talvez, porque a gente mudou já uma vez e um estava com um peso e o outro com outro e os dois são de 500 ml”* (turno 091). Inicialmente as justificativas foram confusas, pois eles estavam em busca da medida que reproduzisse o valor tabelado. Após algumas medições, os alunos passaram a refletir com relação à maneira como realizavam o processo: P: *“O que vocês acham que está influenciando, o quanto vocês põem, ou a maneira como medem?”*. A1: *“A maneira como a gente põe”* (turnos 135 e 136).

Após várias medições, os alunos passaram a ter cuidados não apresentados anteriormente (turnos 139 a 141 e 151): A1: *“...**Agora já sujou em volta, vamos ter que trocar novamente o béquer**”*. A2: *“Trocar novamente”*. A1: *“Vamos trocar novamente, tirar a medida do béquer novamente”*. A1: *“...só que a nossa medida está errada aqui, na hora de medir”*. Após admitirem que o óleo

contido nas bordas do béquer, por imprudência na hora de colocá-lo no recipiente, poderia influenciar no resultado da medida, os alunos concluíram que com as repetidas medições foram melhorando o resultado da medida.

GE3

Os alunos realizaram apenas uma medição, apesar de terem encontrado dois valores para a densidade do óleo. Inicialmente fizeram o processo de medição corretamente, mas erraram os cálculos, obtendo: A1: “ $d = 1,09914$ ” (turno 027). Por saberem o valor tabelado da densidade do óleo, consideraram “estranho” o valor encontrado. Refizeram os cálculos e encontraram o que haviam feito errado, declarando o valor para a densidade do óleo 0,9098: A1: “... *É, deu mais ou menos o resultado*” (turno 031). A1: “*Deu aproximado*” (turno 033). Os alunos alegaram confiar na medida encontrada e não viram necessidade de repeti-la, por se tratar de um valor próximo ao do tabelado.

GE4

Os alunos realizaram duas medições para declararem o valor da densidade do óleo. Ao realizarem a primeira, obtiveram o valor de 0,876 g/ml e, quando questionados pelo professor se estariam satisfeitos com o resultado (turno 019), responderam: A2: “*Não, chegou perto. Será que a gente mediu errado?*” (turno 020). A1: “*Deu aproximado mesmo, achei que ia dar um pouco mais*” (turno 021). Por comparação, quando os alunos do GC1, GC4 e GC5 foram questionados da mesma forma, disseram ter concluído o processo de medição. A estratégia de ensino possibilitou que os alunos do GE4 refletissem a respeito do resultado encontrado e se sentissem motivados a realizar uma nova medição de maneira mais cautelosa: A1: “*Mais um pouco, não. Agora deu hein. Vai **mais um pouquinho, só mais um pouquinho***” (turno 035). A1: “*Tem que esperar*” (turno 041). Ao encontrarem o valor para a segunda medição, comemoraram, pois julgaram ser o valor mais aproximado do valor verdadeiro: “*Urrull, deu 0,913*” (turno 056). Quando questionados pelo professor se estavam satisfeitos com o resultado, disseram (turno 060 a 062): A1: “*Agora sim professora*”. A2: “*Com esse eu fiquei*”. A1: “*Com esse eu fiquei, 0, 913 g/ml. Agora deu certo hein*”. Os alunos reconheceram a possibilidade

de terem errado na medição anterior e identificaram fatores que poderiam influenciar no resultado da medida, como: A2: *“Aumentar a quantidade de óleo ou o tamanho do béquer, **medir com atenção**”* (turno 069), e concluem que na segunda medição melhoraram a medida: A1: *“Dessa vez nós medimos com mais atenção”* (turno 070).

GE5

Os alunos realizaram seis medições para declararem o valor da densidade do óleo. A estratégia de ensino permitiu que eles identificassem um erro de cálculo ocorrido durante o processo de medição: P: *“Encontraram o valor da densidade? Que valor vocês encontraram?”*. A1 e A2: *“Sim, 267,6”*. P: *“A densidade 267,6. Qual a unidade de medida utilizada?”*. A1: *“Foi grama, nós medimos em grama. Grama por ml”*. P: *“Mas o que vocês me dizem do resultado?”*. A2: *“Aquela densidade que está lá é de quantos gramas?”*. P: *“Aquela é a densidade do óleo”*. A2: *“Então isso que deu a densidade...”*.

Ao confrontarem o valor encontrado com o valor tabelado da densidade do óleo, perceberam que eram bem distintos e refizeram os cálculos. Ao obterem o valor da medida, após a correção, disseram estar satisfeitos com o valor encontrado: A1: *“Sim, porque se aproximou mais ou menos do valor que tinha que dar”* (turno 025). Mas quando questionados se confiavam no valor obtido: A2: *“Confiamos nesse valor aqui. Será que não tem nada errado?”* (turno 027). A2: *“Não tinha que dar aquele valor ali?”* (029).

Os alunos passaram a refletir a respeito do valor encontrado. Admitiram a existência de fatores que podem influenciar o processo de medição, como: A2: *“Cálculo, ter pesado errado alguma coisa, peso”* (turno 032), por isso decidem refazer a medida: A1: *“Quer refazer?”* (turno 033). A partir desse momento, os alunos passaram a realizar o experimento com mais cautela e atenção, refletindo e dialogando a respeito dos procedimentos adotados, como se evidencia nos turnos 038, 041 e 051: A2: *“...**O que será que está errado aqui?** O trezentos eu acho que está certo. E se colocasse **um pouquinho mais**”*. A1: *“**Só mais um pouquinho. Agora deu**”*. A1: *“Não tem que ser aí ó. Você está marcando no lugar errado. Tem que descer mais um pouquinho”*.

Os alunos decidiram repetir algumas vezes o processo de medição, ora trocando o conjunto (béquer+óleo), ora ajustando o volume ou a leitura da

balança, A2: *“Eu acho que passou um pouquinho o óleo, tinha que estar em cima da risca, mas passou um pouquinho. A diferença vai estar aqui. Eu acho que passou um pouco. Você não acha? **Um pouquinho de nada, mas passou.** Agora eu acho que está certo... Agora sim”*. Ao se depararem com um valor que não era igual ao tabelado: A2: *“Tem coisa errada aí. Tá errado ali”* (turno 108), A1: *“Deu 0,924”* (turno 110), passaram a discutir: A2: *“O óleo está certo, o béquer também pesou certo. Será que não é a balança que está roubando? Não tem como”*. (turno 112). Os alunos não admitem não encontrar o valor tabelado, pois justificam terem sido cautelosos e feito os procedimentos de medição corretamente.

Após a sexta medida, quando questionados pelo professor: P: *“Então qual o valor da densidade que vocês encontraram?”* (turno 121), responderam que o valor da última foi de 0,925. Então, quando questionados novamente pelo professor a respeito de qual valor declarariam para a medida da densidade se tivessem que responder a um teste, disseram (turnos 124 e 125): A1: *“Colocaria o valor que mais se aproximava”*. A2: *“O que mais se aproximou foi esse aí, porque os outros aqui em cima deu 0,890. O que mais se aproximou foi o último”*. Os alunos desprezaram as demais medidas e indicaram como correta a que mais se aproximava do valor tabelado: A1: *“É porque como ali está aproximadamente, o valor exato mesmo não vai dar, é aproximadamente”*.

3.3 TEMPO GASTO NO EXPERIMENTO E NÚMERO DE MEDIÇÕES

Pela observação individual junto aos subgrupos, verificou-se que, em média, os GEs despenderam mais tempo para a realização da atividade do que os alunos dos GCs, conforme tabela abaixo:

Tabela 8 – Quantidade de medição e tempo gasto dos GCs e GEs.

Grupo	Quantidade de Medição	Tempo gasto
GC1	1	9'17''
GG2	2	10'15''
GG3	2	22'33''
GC4	1	10'25''
GC5	1	9'40''
MÉDIA	1,4	12'26''
GE1	9	52'33''
GE2	12	67'20''
GE3	1	10'24''
GE4	2	16'36''
GE5	6	39'54''
MÉDIA	6	37'28''

Isso se justifica por um conjunto de comportamentos apresentado pelos GEs que não foram identificados nos GCs, como, por exemplo, a cautela e a atenção ao repetir medições, o diálogo e as reflexões a respeito dos procedimentos adotados e os resultados obtidos. Os diálogos estabelecidos entre os alunos dos GCs centraram-se apenas em como utilizar o material e realizar os cálculos, conforme descritos na análise individual desses subgrupos. A repetição das medidas por parte dos quatro GEs se dá porque conheciam antecipadamente o valor da densidade do óleo e buscaram encontrá-la experimentalmente.

Observamos que os alunos dos GEs são mais cuidadosos ao repetirem medidas, como se verifica no GE1 (A1: *“Mas vai cair lá. Mexe com a caneta para não mexer muito. Calma aí. Tá né? Certinho? Acho que não está não, olha aí. Deixa eu ver mais um”* (turno 080)), no GE2 (A2: *“Vem mais um pouquinho. Pode vir. Volta. Espera. Deu. Volta. Deu. Não deu não, volta mais um pouquinho”* (turno 115); A2: *“Não deu não, estou vendo daqui. Agora deu, não passou”* (turno 117)), no GE4 (A1: *“Mais um pouco, não. Agora deu hein. Vai mais um pouquinho,*

só mais um pouquinho” (turno 031); A1: *“Tem que esperar”* (turno 041) e A1: *“Não, está um pouquinho para cima. Agora deu”* (turno 043)) e nos turnos 050 e 051 do GE5 (A2: *“Tá certo, tem que marcar aqui. Nesse daqui oh”*; A1: *“Não tem que ser aí ó. Você está marcando no lugar errado. Tem que descer mais um pouquinho”*).

Por conhecerem antecipadamente o valor a ser obtido, os GE2, 3 e 5 retornaram aos cálculos realizados e encontraram erros, corrigindo-os. Em uma das medições do GE2, os alunos mediram a massa de 350 ml de óleo, mas, ao efetuarem o cálculo, dividiram essa massa por 400 ml. Por ter se afastado do valor tabelado, os alunos retornaram ao cálculo tecendo reflexões a respeito dos passos realizados, A1: *“Espera, 471,5, e a massa do béquer é 154. Deu 317,5 dividido por 400”* turno (043), A1: *“Deixa eu ver, ..., dividido pelo...”* (turno 045), A1: *“Por 400. Ahhh é por 350”* (turno 047), A2: *“Vamos começar tudo de novo”* (turno 048). Comportamento semelhante ao observado no GE3 A1: *“A gente encontrou um aqui, mas não tem nada a ver com aquele valor...”* (turno 021), A1: *“A gente tirou o valor do béquer e o valor do béquer com o óleo... aí deu 600 dividido por 459,9”* (turno 023), A1: *“Mas aqui no caso A2, encontramos o erro. Aqui é 500 e não 600”* (turno 025). O GE5 havia declarado 267,6 g/ml para a densidade do óleo. Quando questionados a respeito do resultado, retornaram ao cálculo e o corrigiram (A1: *“Não, a gente tinha que dividir aí pra achar a densidade...”* (turno 023)).

Os alunos dos GE1, 2, 4 e 5 refletiram a respeito de fatores que influenciaram o resultado obtido no processo de medição. Evidenciamos esse comportamento no GE2 (A2: *“A gente mediu certo”* (turno 165), A2: *“Não tem óleo na parede do béquer nem na balança”* (turno 167), A1: *“O que pode estar errado? A medida do óleo não é, acho que é a do béquer”* (turno 170), A2: *“Não, a do béquer está certa”* (turno 171)), reconheceram, conforme o pronunciado no turno 209, que com as repetições aprimoraram a maneira de medir, obtendo resultados melhores. No GE1, (A1: *“Tá vendo como é a medida, toda hora muda a balança”* (turno 063), A1: *“Eu acho que passou bem pouquinho, mas passou. Mas pode ter sido aqui também, sem o óleo, a medida que a gente tá vendo errado”* (turno 072)). No GE4, declaram que aumentar a quantidade de óleo (turno 069), medir corretamente (turno 065) e com mais atenção (070) influencia o valor da medida encontrada. Os alunos do GE5 perceberam um erro de leitura que estavam cometendo (A1: *“Não tem que ser aí ó. Você está marcando no lugar errado. Tem que descer mais um pouquinho”* (turno 051), A2: *“Se este daqui tinha que estar aqui mesmo, então a primeira medida*

do béquer nós fizemos errado aquela hora” (turno 065)). Apenas os alunos do GC2 observaram que o volume do óleo não estava na marcação correta e repetiram a medida completando-o (A1: *“Aí, agora deu certinho”*; A2: *“Daí agora vai ser lá. Tem que ser este”*; A1: *“Aí, agora deu certinho. Vai ter que fazer a conta de novo”* (turnos 030 a 032)). Reconheceram que a falta de óleo influenciou o resultado obtido anteriormente (A1: *“É que antes nós usamos o 300 mas não colocamos 300, faltou um pouquinho”* (turno 042)).

Pôde-se identificar que os alunos dos GEs apresentam um conjunto de comportamento que vai ao encontro da hipótese do trabalho: estudantes que conhecem previamente o valor da medida a ser encontrada em uma atividade experimental despendem mais tempo na execução, discussão e reflexão a respeito dos procedimentos adotados e dos resultados obtidos. Isto propicia momentos espontâneos que podem ser aproveitados para chegar a uma ideia inicial de incertezas, flutuações, média e erros (GE2: A2: *“A gente mediu certo”* (turno 165), A1: *“A medida do óleo está certa”* (turno 166), A2: *“Não tem óleo na parede do béquer nem na balança. Tá certo”* (turno 167), A1: *“Nós vamos utilizar o caderno inteiro e não vamos achar o resultado”* (turno 198)), o que dificilmente surge numa estratégia em que não se conhece de antemão o valor da medida como demonstra os GCs.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comprovação de que alunos submetidos à estratégia de ensino investigada obtêm medidas com melhor acurácia que os não submetidos a ela e a confirmação da hipótese de que os primeiros despendem mais tempo na execução e discussão das atividades com os pares e professor, são mais cautelosos, refletem a respeito dos procedimentos adotados e resultados obtidos, de modo a propiciar momentos que encaminhem a ideias pertencentes ao Paradigma de Conjunto, caracterizam a importância da estratégia de ensino aqui sugerida.

Reconhecemos que, apenas através da estratégia aplicada, dificilmente os alunos chegariam a conceitos elaborados da teoria dos erros, como, por exemplo, desvio padrão, sem que antes tivessem passado por uma instrução formal de ensino. Mas os comportamentos e atitudes apresentadas por alunos dos GEs, ao realizarem atividades experimentais quantitativas, constituem um passo inicial importante para o avanço da construção do conhecimento científico a respeito de medição, condizentes com o Paradigma de Conjunto.

Na análise quantitativa, apesar de parecer insignificante, as diferenças obtidas entre o GC e o GE no valor da média dos desvios, ainda que estatisticamente pertinentes, o que poderia ser objeto de crítica da proposta, mostram-se importantes quando se observam os subgrupos. Há casos (GC1, GC2, GC4 e GC5) em que a discrepância é relevante e a estratégia fica explicitada juntamente com os resultados da segunda problemática.

Cauzinille_Marmeche et al. (1985) apontam que os alunos investigados (idades entre onze e treze anos) raramente replicavam experimentos ou não comparavam conjuntos de medidas ou médias, pois isso não tem significado para eles. Tais entendimentos de medição também foram identificados em nossa pesquisa, porém a estratégia de ensino aqui aplicada permitiu avançar nos resultados encontrados pelos autores, visto que os alunos dos GEs repetiram medidas, refletiram a respeito dos procedimentos adotados e resultados obtidos, potencializando momentos que conduziam a ideias de incertezas, erros, médias e flutuações, condizentes com o Paradigma de Conjunto e que permitem que o ensino caminhe em direção a ele.

Ressalta-se a importância de valorizar atividades experimentais que foquem os procedimentos de medição desde os anos iniciais do ensino médio para que, em momentos de instruções posteriores, os alunos construam ideias aceitáveis a esse respeito. Por isso a utilização de estratégias de ensino diferenciadas, como a que propomos, inspirada na de Millar (1987), e de outras que envolvam o enfrentamento teoria e evidência, interpretação dos dados, de modo que possibilitem suportar uma conclusão, é indispensável, sendo aceitável quando Osborne (1996) declara que o trabalho experimental deveria focar efetivamente a compreensão dos procedimentos relacionados às medidas.

Uma implicação importante dos resultados deste trabalho relaciona-se às inserções de atividades didáticas provenientes do estudo de variadas estratégias de ensino que se inspiram corriqueiramente em orientações fundamentadas em teste de hipóteses ou em aplicação de um paradigma. Nesse sentido, a corroboração da hipótese investigada sugere o emprego de estratégias instrucionais de inclinação kuhniana, determinação de constantes ou comparação entre hipóteses, todas com resultados antecipadamente conhecidos pelo aprendiz, em detrimento de estratégias que utilizem valores desconhecidos, como as de teste de hipóteses, ou que estudem possíveis covariações entre grandezas físicas. Num primeiro momento, as instruções de inclinação kuhniana são preferíveis, por permitirem preparar melhor o aluno para a noção de conceitos iniciais da teoria dos erros, considerando-se os argumentos a respeito dos comportamentos apresentados pelos estudantes dos GEs.

Entendemos que este trabalho abre novas possibilidades de pesquisa, uma vez que se limitou à melhora da acurácia e a investigar se comportamentos ligados aos procedimentos experimentais, próprios do Paradigma de Conjunto, são estimulados quando se emprega a estratégia investigada. Para uma pesquisa futura, seria interessante que o professor conduzisse os alunos a conceitos mais elaborados da teoria dos erros, aproveitando os momentos que a estratégia provoca. Poder-se-ia também perguntar se estudantes que conhecem previamente a medida a ser obtida não chegam a perceber com mais facilidade e clareza a existência de erros experimentais, visto que há um limite para melhorar o dado experimental e que este limite é o dos erros sistemáticos e estatísticos. Com essa última pergunta, esperamos contribuir para investigações futuras.

Enfim, a estratégia de ensino proposta pode ser uma importante ferramenta educacional para que alunos comecem a explorar e desenvolver ideias iniciais a respeito de medição, dando-lhes suporte para, em momentos futuros, avançarem em relação à teoria dos erros. Por isso acreditamos na importância do trabalho, por indicar uma estratégia de ensino que proporcionou a melhora da acurácia na retirada de medidas experimentais e por produzir vários comportamentos que favorecem o enfrentamento das concepções dos estudantes a respeito de medidas arraigadas ao Paradigma Pontual para que caminhem em direção ao Paradigma de Conjunto.

REFERENCIAL

ABRAHANS, I.; MILLAR, R. Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. **International Journal of Science Education**. v. 30, n. 14, p. 1945–1969, 2008.

ABRAHAMS, Ian. Does Practical Work Really Motivate? A study of the affective value of practical work in secondary school science. **International Journal of Science Education**. v. 31, n. 17, p. 2335-2353, 2009.

ALLIE, S., et al. First year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements, **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 4, p. 447-459, 1998.

ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P. Estratégias de ensinagem. In: ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P. (Org.). **Processos de ensinagem na universidade: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula**. 3. ed. Joinville: Univille, p. 67-100, 2004.

ASSIS, A.; LABURÚ, C. E.; SALVADEGO, W. N. C. A seleção de experimentos de química pelo professor e o saber profissional. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 1, 2009.

AXT, R. O papel da experimentação no ensino de ciências. In: MOREIRA, M. A; AXT, R. **Tópicos em ensino de ciências**. p. 79-90. Porto Alegre: Sagra, 1991.

BARBERÁ, O.; VALDÉS, P. El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 14, n. 3, p. 365-379, 1996.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

BUFFLER, A. et al. The development of first year physics student's ideas about measurement in terms of point and set paradigms, **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 11, p. 1137-1156, 2001.

BUFFLER, A.; LUBBEN, F.; IBRAHIM, B. The Relationship Between Students' Views of the Nature of Science and their Views of the Nature of Scientific Measurement; **International Journal of Science Education**, vol. 31, n. 9, 2009.

CHANG, H. **Inventing Temperature: Measurement and Scientific Progress**. Oxford University Press, Oxford, 2004.

CAUZINILLE-MARMECHE, et al. The influence of a priori ideas on the experimental approach, **Science Education**, v. 69, n.2, p. 201-211, 1985.

COELHO, S. M. **Contribution à l'étude didactique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire: description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique des élèves et des enseignants**. Tese (Doutorado em Ciências Físicas) - Universidade de Paris, França, 1993.

COELHO, S. M.; SÉRÉ, M. G. Pupils' reasoning and practice during hands-on activities in the measurement phase. **Research in Science and Technological Education**. vol. 16, n. 1, p. 79-96, 1998.

EVANGELINOS, et al. Undergraduate students' views about the approximate nature of measurement results. In M. Komorek et al., (Eds), **Proceedings of the Second International Conference of the European Science Education Research Association**. vol. 1, p. 208-210, Germany, 1999.

FIGUEIREDO, E. **Sistemas de unidades, teoria dos erros, fórmulas dimensionais**. 3. ed. São Paulo: Livraria Nobel S.A., 1966.

GALIAZZI, M. C., et al.. Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências, **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, 2001.

GIL-PÉREZ, D. La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 2, p. 111-121, 1986.

GIL-PÉREZ, D.; FURIÓ, C.; VALDÉS, P.; SALINAS, J.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; GUIASOLA, J.; GONZÁLEZ, E.; DUMAS-CARRÉ, A.; GOFFARD, M.; PESSOA, A. M. Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 2, p. 311-320, 1999.

HELENE, O.; TSAI, S. P.; TEIXEIRA, R. R. P. O que é uma medida? **Revista de Ensino de Física**, v. 13, p. 12-29, 1991.

HELENE, O. A. M.; VANIM, V. R. **Tratamento estatístico de dados em física experimental**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

HENNIES, C. E.; GUIMARÃES, W. O. N.; ROVERSI, J. A. Erros e desvios de medida. In: **Problemas experimentais em Física**. v. 1, Campinas: Ed. da Unicamp, 1986.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. **Science Education**, v. 88, p. 28-54, 2003.

HODSON, D. Experimentos em Ciências e Ensino de Ciências. **Educational Philosophy and Theory**, v.18, n. 53, p. 53-66, 1988.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais em Metrologia**, INMETRO, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, 1995.

JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY (JCGM). **Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)**. 1. ed. Sèvres: BIPM, 2008a. 120 p. Disponível em: <www.bipm.org/en/publications/guides>. Acesso em: 17 dez. 2011.

JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY (JCGM). **International vocabulary in metrology: Basic and general concepts and associated terms** (VIM). 3. ed. Sèvres: BIPM, 2008b. 90 p. Disponível em: <www.bipm.org/en/publications/guides>. Acesso em: 17 dez. 2011.

JURAITIS, K. R.; DOMICIANO, J. B. **Introdução ao Laboratório de Física Experimental: métodos de obtenção, registro e análise de dados experimentais**. Londrina: EDUEL, 2009.

KANARI, Z.; MILLAR, R. Reasoning from Data: How Students Collect and Interpret Data in Science Investigations. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 41, n. 7, p. 748-769, 2004.

KIRSCHNER, P. A. Epistemology, practical work and academic skills in science education, **Science & Education**, v. 1, p. 273-299, 1992.

KITCHENHAM, B.; PFLEEGER, S. L.; FENTON, N., Towards a Framework for Software Measurement Validation, **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 21, n. 12, p. 929 – 944, 1995.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1977.

LABURÚ, C. E. Seleção de experimentos de física no ensino médio: uma investigação a partir da fala dos professores. **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, 2005.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A.; KANBACH, B. G. A relação com o saber profissional do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 3, 2007.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A. Problemas com a compreensão de estudantes em medição: razões para a formação do paradigma pontual, **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 14, n. 2, p. 152-162, 2009.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.; SALES, D. R. Superações conceituais de estudantes do ensino médio em medição a partir de questionamentos de uma situação experimental problemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 1402-1402-15, 2010.

LAVONEN, J.; et al. Effect of a long-term in-service training program on teachers' beliefs about the role of experiments in physics education. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 3, p. 309-328, 2004.

LEMES, M. J. R.; FERNANDES, C. T. Uma Taxonomia Para Métricas de Software, **XI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software**, Workshop de Qualidade de Software, Fortaleza, Brasil, 1997.

LIMA JÚNIOR, P.; SILVEIRA, F. L. Sobre incertezas do tipo A e B e sua propagação sem derivadas: uma contribuição para a incorporação da metrologia contemporânea aos laboratórios de física básica superior. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n.2, p. 2303-1-6, 2011a.

LIMA JÚNIOR, P.; SILVEIRA, F. L. Discutindo os conceitos de erro e incerteza a partir da tábua de Galton com estudantes de graduação: uma contribuição para a incorporação de novas abordagens da metrologia ao ensino de física superior. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 28, n. 2, p. 400-422, 2011b.

LUBBEN, F.; MILLAR, R. Children's ideas about the reliability of experimental data, **International Journal of Science Education**, v. 18, n. 8, p. 955-968, 1996.

MÄNTYLÄ, T.; KOPONEN, I. T. Understanding the role of measurements in creating physical quantities: a case study of learning to quantify temperature in physics teacher education, **Science & Education**, v. 16, p. 291-311, 2007.

MARINELI, F.; PACCA, J. L. A. Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de física, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 497-505, 2006.

MARTINS, R. A. A visão operacional dos conceitos e medidas físicas. **Revista de Ensino de Física**. São Paulo, v. 4, p. 57-84, 1982.

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

MILLAR, R. A Means to an end: the role of processes in science education. In: Woolnough, B. (Ed.). **Practical science**. Buckingham, UK: Open University Press. Cap. 5, p. 43-52, 1991.

MILLAR, R.; LUBBEN, F.; GOTT, R.; DUGGAN, S. Investigating in the school science laboratory: Conceptual and procedural knowledge and their influence on performance, **Research Papers in Education**, v. 9, n. 2, p. 207-248, 1994.

MILLAR, R. Um currículo de ciências voltado para a compreensão por todos, **Ensaio**, v. 5, n. 2, 2003.

OSBORNE, J. Untying the Gordian knot: diminishing the role of practical work. **Physics Education**, v. 31, n. 5, p. 271-278, 1996.

PEDUZZI, L. O. de Q.; PEDUZZI, S. S. (Editorial). **Cad. Bras. Ens. de Física**, v. 21, n. especial, p. 7-8, nov. 2004.

SALES, D. R. **Um estudo da superação conceitual de estudantes do ensino médio sobre procedimentos de medição a partir de um encaminhamento didático baseado em provocações**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência e Educação Matemática) – UEL, Londrina 2009.

SANTORO, A. et al. **Estimativas e erros em experimentos de física**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 2008.

SEED. Diretrizes curriculares de Física para a Educação Básica. Curitiba – PR, 2008.

SÉRÉ, M. G. Une analogie pour comprendre l'approche statistique des incertitudes en première année d'Université. **Didaskalia**, n. 3, 1994.

SÉRÉ, M. G. Towards renewed research questions from the outcomes of the European project labwork in science education, **Science Education**, v.86, p. 624-44, 2002.

SÉRÉ, M. G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da Física, **Cad. Bras. Ens. de Física**, v. 20, n. 1, p. 30-42, 2003.

STOREY, R. D.; CARTER, J. Why the scientific method? Do we need a new hypothesis?, **The Science Teacher**, v. 59, n. 9, p. 18-21, 1992.

TIBERGHIE, A. Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, et al. (Eds.), **Improving science education: The contribution of research**. Buckingham, UK: Open University Press, p. 27–47, 2000.

TIPLER, A. P.; MOSCA, G. **Física em volume único**. 5. ed. São Paulo: LTC, 2006.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria de erros**. São Paulo: Edgard Blucher, 1992.

VUOLO, J. H. Avaliação e expressão da incerteza em medição. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 350-358, 1999.

WHITE, R. T. The link between the laboratory and learning, **International Journal of Science Education**, v. 18, no. 7, p. 761-774, 1996.

ZANON, L. B.; SILVA, L. H. A. A Experimentação no Ensino de Ciências. In: SCHNETZLER, R. P.; ARAGÃO, R. M. R. de. **Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens**. Campinas: Capes/Unimep, p. 120-153, 2000.

ANEXOS

ANEXO A - Transcrição do GC1

Tempo	Turno	Falas dos participantes	Acontecimentos relevantes
20"	001	A1: Vem mais para frente um pouco. Não, passou, passou.	
44"	002	A2: Vamos deixar parar para ver.	
1'20"	003	A1: Não eu acho que tem que ficar no meio, entre o 40 e o 50, o de trás. Aí, vamos deixar parar para ver. Tem que deixar passar mais um pouquinho.	
1'30"	004	A2: É dá para mexer o da frente também.	
1'58"	005	A1: Mais um pouquinho. Só um pouquinho.	
2'25"	006	A2: Vamos deixar parar para ver. Tá um "risquinho" para cima.	
2'34"	007	A1: Parou, tá certo?	
2'35"	008	A2: Parou.	
2'44"	009	A1: Acho que tá um "risquinho" para cima.	
4'03"	010	A2: Deu 145,8. Está no meio, então continua 140? Ah, tem que esperar parar, acho que precisa de mais um pouco.	(1) Receberam novas informações a respeito do o manuseio da balança.
4'30"	011	A1: Acho que agora tá certo.	
4'34"	012	A2: Não está pronto, vai ficar para baixo.	
5'30"	013	A1: Põe 300. Passou?	
5'35"	014	A2: Passou.	
5'37"	015	A1: Então põem no 400 e fica certo.	
7'	016	A2: Deu 510,4.	(2) Receberam novamente instruções a respeito de como utilizarem a fórmula da densidade.
7'50"	017	A1: 510,4 menos 150,4. Deu 360. A massa deu 360.	
7'58"	018	A2: A massa do vidro ou do óleo?	
8'	019	P: Do óleo.	
8'15"	020	A2: Ah, então está certo. A massa do óleo e o volume é esse daqui: 400.	(3) Apontando para o volume do óleo ocupado no béquer.
8'18"	021	A1: 400?	
8'22"	022	A2: É o volume daqui.	(4) Apontando novamente para o volume do béquer.

8'32"	023	A1: É 360 dividido por 400.	
8'45"	024	A2: 0,9 . Agora você coloca mais ou menos porque tem aquele "til" em cima grama por ml.	
8'55"	025	P: Então o valor da densidade que vocês encontraram foi de 0,9 g/ml?	
8'57"	026	A1 e A2: Sim, 0,9 g/ml.	
9'	027	P: Vocês estão satisfeitas com esse valor? Confiam nesse valor?	
9'08"	028	A1 e A2: Acho que sim.	
9'14"	029	A2: Eu achei que ia dar um pouco mais, pois o volume do óleo é bastante, então achei que ia dar mais.	
9'16"	030	P: Concluíram vossa medição?	
9'17"	031	A1 e A2: Sim.	

ANEXO B – Transcrição do GC2

Tempo	Turno	Falas dos participantes	Acontecimentos relevantes
30"	001	A1: Tem que descer mais um pouquinho.	
39"	002	A2: Pode descer A1.	
1'02"	003	A1: Aí deu sim, é porque tá mexendo, mas deu certo. Deu 144,6.	
1'25"	004	A2: 144,6.	
1'30"	005	A1: Agora vai ser do óleo. Coloca todo o óleo?	
1'35"	006	P: Podem escolher o volume que vocês quiserem.	
1'48"	007	A1: Vamos por até 300.	
2'51"	008	A2: Passou, tem que ser aqui mesmo, o outro vai para frente.	
3'	009	A1: Aí, é esse mesmo. Deu 400,9. Opa 409.	
3'30"	010	A2: Daí tem que fazer aquela conta lá?	
3'32"	011	P: Tem.	
3'44"	012	A2: Tem que descontar antes de fazer a conta.	
4'30"	013	A1: Deu 264,4. Aí faz a conta d é igual a g? Aí vai ser o g dividido por ml.	
5'	014	P: Qual a massa?	
5'03'	015	A1: Qual o ml?	
5'05"	016	P: Qual o volume que vocês utilizaram?	
5'08"	017	A1 e A2: 300.	
5'37"	018	A1: 0,8813333...	
5'53"	019	P: Então anota o valor da densidade que vocês me dirão qual é. Ok. Vocês estão satisfeitas com essa medida?	
5'59"	010	A1: Ai deu estranho.	
6'01"	021	A2: Eu também acho que está errado isso aí.	
6'05"	022	A1: Eu acho que está meio estranho essa medida aqui.	
6'11"	023	P: Por que, por exemplo?	

6'16"	024	A1: Ai sei lá, mas acho que está meio estranho essa medida.	
6'25"	025	A2: Professora aqui não deveria ter colocado até o ponto certinho aqui ó? Porque aqui está faltando um pouco, mas bem pouco também.	(1) A aluna aponta para a marcação do nível do óleo no béquer. Faltavam poucos ml para completar 300 ml.
6'29"	026	A1: Oh, tá bem pouquinho.	(2) Apontando para o nível do óleo.
6'32"	027	P: Vocês acham que interfere no resultado?	
6'34"	028	A1 e A2: Eu acho que interfere.	
6'40"	029	A2: Daí faz de novo?	(3) A aluna A1 completa o volume do óleo.
6'47"	030	A1: Aí, agora deu certinho.	
7'06"	031	A2: Daí agora vai ser lá. Tem que ser este.	(4) Ajustaram os marcadores da balança.
7'47"	032	A1: Aí, agora deu certinho. Vai ter que fazer a conta de novo.	
7'55"	033	A2: 420...	
7'59"	034	A1: 426,3.	
8'20"	035	A2: Daí tem que fazer aquela conta de novo.	
9'07"	036	A1: Deu 281,7. Agora vou fazer a conta.	
9'35"	037	A2: Deu certo.	(5) Expressaram entusiasmo.
9'38"	038	A1: Agora deu certo, eu também acho.	
9'40"	039	P: Quanto deu?	
9'42"	040	A1 e A2: Deu 0,939.	
9'50"	041	P: O que vocês fizeram de diferente de uma medida para outra?	
10'03"	042	A1: É que antes nós usamos o 300 mas não colocamos 300, faltou um pouquinho.	
10'10"	043	P: Agora estão satisfeitas?	
10'15"	044	A1 e A2: Agora sim.	

ANEXO C - Transcrição do GC3

Tempo	Turno	Falas dos participantes	Acontecimentos relevantes
16"	001	A1: Tem que mexer aí, espera não mexeu ainda. Tá encaixado?	
17"	002	A2: Tá.	
20"	003	A1: No quarenta.	
1'	004	A2: Não chegou ainda não. E agora?	
1'03"	005	A1: Tá, não tá?	
1'09"	006	A2: Acho que sim. Tá.	
1'14"	007	A1: Quanto deu?	
1'40"	008	A2: Deu 145 certinho. Olha aqui A1, olha aqui pra ver se está certinho no cinco. Está no cinco certo?	
1'45"	009	A1: Passou.	
1'58"	010	A2: Acho que é no vírgula um, pois está aqui um pouquinho depois do cinco.	
2'12"	011	A1: Puxa um pouco mais para cá para ver se mexe. Nem mexeu. Está no zero ainda.	
2'16"	012	A2: Subiu um pouquinho ainda.	
2'28"	013	A1: Quando que deu?	
2'30"	014	A2: Deu 145,1.	
2'33"	015	A1: Certeza?	
2'37"	016	A2: Bom está no zero.	(1) Referindo-se ao ponto de equilíbrio da balança.
03'45"	017	A1: Colocamos 200.	
5'19"	018	A2: Espera um pouquinho.	
5'43"	019	A1: Quanto?	
6'05"	020	A2: 325,7. Conta aqui pra ver se é sete mesmo.	
6'50"	021	A1: É sim. Tem que primeiro tirar a massa do "coisa". É esse menos esse né? Deu 180,6.	(2) Referindo-se a massa do béquer vazio. Utilizaram a fórmula da densidade e realizaram o cálculo.
8'22"	022	P: Quanto deu?	
8'26"	023	A1: Deu 0,903.	
8'29"	024	A2: Põe a unidade, é g/ml.	
8'35"	025	P: Então, qual o valor da densidade?	
8'38"	026	A1: 0,903 g/ml.	

8'45''	027	P: Vocês estão satisfeitas com o valor da medida?	
8'50''	028	A1: Pode medir de novo?	
8'55''	029	P: Pode.	
9'43''	030	A1: Não vai medir tudo de novo?	(3) Trocaram o béquer já utilizado por outro limpo.
10'16''	031	A2: É o mesmo não é? Não tem diferença. Tá no quarenta?	(4) Comparando os dois béqueres.
10'36''	032	A1: Tá. Nem se mexeu. Da outra vez foi no cinco, não foi?	
10'37''	033	A2: Foi.	
12'	034	A1: Coloca no 70. Agora mexe o vermelho. Olha nem mexe. Você foi até o fim?	
12'02''	035	A2: Até o nove.	
13'35''	036	A1: Que diferença que deu. Mais pra cá. Quanto?	
14'08''	037	A2: 182,2. Agora coloca o óleo nesse aqui. Põe 200 de novo.	(4) Apontando para o béquer limpo que acabara de encontrar a massa.
17'	038	A1: Tá certo.	
17'25''	039	A2: 357,3. Conta pra ver se deu certo.	
18'49''	040	A1: Certo. Nossa agora deu menor.	(5) Repetiram os cálculos.
18'53''	041	P: Quanto deu?	
18'56''	042	A2: Deu 0,8755.	
19'11''	043	P: então, qual o valor da densidade?	
19'20''	044	A1: Eu acho que é a primeira.	
19'25''	045	A2: Essa última eu achei que esse aqui está faltando um pouquinho de óleo aqui.	(6) Referindo-se a primeira medição.
20'	046	A1: Eu acho que é a primeira.	
20'15''	047	A2: Eu acho que estava faltando um pouquinho de óleo depois que eu tirei da balança.	
20'23''	048	A1: Eu já achei que passou um pouco.	
20'38''	049	A2: Aqui está certinho.	(7) Olhando para o béquer contendo o óleo, utilizado na segunda medição.
20'46''	050	A1: Não sei, eu continuo achando que é esse.	
21'03''	051	A2: São béqueres diferentes.	
21'26''	052	P: Fecharam em um valor?	
21'28''	053	A1: Eu continuo com essa daqui.	
21'30''	054	P: Com a primeira? Você quem sabe.	

21'45''	055	A2: Eu acho que é esse, por causa do óleo, estava menos.	
21'48''	056	A1: Não estava.	
21'58''	057	P: Não chegaram a um consenso?	
22'16''	058	A1: Então o primeiro.	
22'30''	059	P: Então vocês fecham nesse valor de 0,903 g/ml. Encontraram a densidade?	
22'33''	060	A1 e A2: Sim.	

ANEXO D – Transcrição do GC4

Tempo	Turno	Falas dos participantes	Acontecimentos relevantes
1'10"	001	A1: Puxa um pouquinho aí, só um pouquinho. Espera parar agora.	
1'40"	002	A2: Passou um pouco.	
1'57"	003	A1: Tem que ser um pouquinho mais, só volta mais um pouquinho pra lá. Aí. Eu acho que vai ficar no zero, o que você acha?	
2'	004	A2: Acho que é.	
2'06"	005	A1: Ficou né?	
2'08"	006	A2: Ficou.	
2'50"	007	A1: Qual o peso agora? 180,3.	
2'55"	008	A2: Agora é o óleo.	
3'06"	009	A1: Qual volume põe aqui?	
3'08"	010	P: Quanto vocês quiserem.	
3'12"	011	A1: Põe quanto A2?	
3'28"	012	A2: Põe 300, né. Tá bom.	
5'12"	013	A1: Vai mais um, coloca no último. Com o pesinho pequeno. Um pouquinho mais, só um pouquinho. Mais um pouco. Tá no zero ou não?	(1) Referindo-se ao ponto de equilíbrio da balança.
5'56"	014	A2: Pode escrever aqui?	
6'13"	015	A1: 440..., 403,6, 430,6.	
6'15"	016	A2: 40.	
6'16"	017	A1: É, 440, mas esse aqui é o três?	
6'17"	018	A2: É.	
7'50"	019	A1: 443,6. Agora desconta aquela lá. Deu 263,3. Tem que achar o volume ou a densidade?	
8'01"	020	A2: Aqui achou o grama né?	
8'03"	021	P: Achou a massa.	
8'08"	022	A1: O volume é o tanto que está aqui no "potinho".	(2) Apontando para o béquer.
8'52"	023	P: Quanto deu?	
9'	024	A2: 0,877666...	
9'12"	025	P: Qual o valor da densidade que vocês encontraram?	
9'39"	026	A2: 0,8. Esse 6 precisa por também?	
9'42"	027	P: O que vocês acham?	

9'45''	028	A2: Fica estranho.	
10'16''	029	A1: Põe um 6 só, porque ele vai se repetir lá na frente. Esse é o valor da densidade. $d = 0,8776$. Só isso professora?	
10'20''	030	P: Fecharam?	
10'25''	031	A1: Sim.	

ANEXO E - Transcrição do GC5

Tempo	Turno	Falas dos participantes	Acontecimentos relevantes
1'30"	001	A1: Ainda não.	
2'05"	002	A2: Parou?	(1) Anotaram 182,3.
2'17"	003	A1: Agora tem que usar a fórmula?	
2'20"	004	A2: Agora tem que medir com o óleo.	
2'23"	005	A1: Ah é verdade.	
2'34"	006	A2: Vê aí.	(2) Referindo-se a quantidade de óleo que colocava no béquer.
2'39"	007	A1: Tá bom.	(3) Receberam novas instruções de como operarem a balança.
4'58"	008	A2: Parou?	
5'20"	009	A1: 531,6.	
5'35"	010	A2: 531,6?	
5'55"	011	P: Qual foi a massa que vocês encontraram?	
5'57"	012	A2: Com o óleo?	
6'01"	013	P: É.	
6'02"	014	A2: 531,6.	
6'20"	015	P: Agora podem aplicar a fórmula, utilizando a massa só do óleo. O que tem que fazer?	
6'58"	016	A1: Tem que tirar. Aqui que parou nos "risquinhos" marca como?	
7'02"	017	P: O número vírgula os "risquinhos".	
7'37"	018	A1: Ah então tá certo. Agora tem que colocar a fórmula. Coloca d igual.	
8'05"	019	A2: Qual é a massa mesmo? Essa aqui?	
8'20"	020	A1: Isso. V é o volume, é 400. Aí divide.	
8'47"	021	P: Quanto deu o valor da densidade?	
8'51"	022	A1: 0,87325.	
9'07"	023	A2: E agora?	
9'09"	024	P: Então o valor da densidade que vocês encontraram.	
9'11"	025	A1: Tem que colocar aquela coisa aí: g/ml.	

9'32"	026	A2: G é o que, grama?	
9'39"	027	A1: É só isso professora?	
9'40"	028	A2: Só.	(4) Os alunos levantaram-se dando por encerrada a atividade.

ANEXO F – Transcrição do GE1

Tempo	Turno	Falas dos participantes	Acontecimentos relevantes
1'20"	001	A1: Vem aqui A2 me ajudar. Tem que ser aqui, vai arrumando aqui. Aqui vai passar. Então vai ser no...	
1'45"	002	A2: Mexe o grande.	
2'20"	003	A1: Não A2, tem que ser esse aqui. Quase, só mais um pouquinho.	
2'50"	004	A2: Parou.	
4'35"	005	A1: Não vai ficar em ciminha. Deu 182,5. Aqui o m vai ser o vidro mais o óleo. 400 a gente colocou aqui.	
4'37"	006	P: O volume vocês escolhem.	
4'40"	007	A2: 400.	
4'50"	008	A1: 400 vamos colocar. Tá certinho?	
4'51"	009	A2: Tá.	
8'19"	010	A1: Agora aqui, aqui passa. Vamos ver se esse dá. Mais um. Vamos ver. Vai ficar, não vai dar ainda.	
8'21"	011	A2: Precisa de mais um.	
8'55"	012	A1: Não espera. Aí, eu acho que não vai dar ainda. Olha lá. Tá certinho aqui oh.	(1) A aluna aponta para o nível do óleo dizendo estar certo.
8'10"	013	A2: O do béquer está certo.	
9'39"	014	A1: Olha lá, não vai dar ainda. Só mais um.	
9'42"	015	A2: Só mais um pouquinho.	
12'55"	016	A1: Mais um pouquinho. 537,7. Agora o m vai ser a massa do vidro mais o óleo menos a massa do vidro. Não, é essa aqui, a massa do vidro mais o óleo menos a massa do vidro. Deixa eu fazer. Deu 355,2. Agora vai ser, usar a fórmula da densidade que é igual a massa dividida pelo volume. A massa que é 355,2 dividido pelo volume que a gente usou que foi 400 ml. Ah, 0,888. Ficou bem longe hein.	
12'53"	017	A2: É verdade.	
13'	018	P: O que vocês acham que pode ter	

		acontecido?	
13'35''	019	A1: A eu acho que foi na hora de medir eu acho. O volume do óleo será? Acho que na hora de medir não fica totalmente em cima do zero.	
13'37''	020	P: O que vocês acham?	
13'40''	021	A1: Será que se colocar mais um pouquinho?	
13'42''	022	A2: Mais volume.	
13'43''	023	P: Medir de novo?	
17'40''	024	A1: Vamos. Anota aí de novo: o vidro é o mesmo 182,5, agora vamos arrumar aqui. Olha lá, está certo? 546, certinho em cima do 6. Agora vai fazer a massa dos dois menos só do vidro. Agora divide 128 por 400. Passou. Agora deu negativo professora.	
17'42''	025	A2: Tá errado.	
18'45''	026	A1: Aí, agora divide 363,5 por 400. Agora aproximou mais um pouco. Deu 0,90875.	
18'50''	027	P: Vocês estão satisfeitas com esse resultado? Concordam?	
18'53''	028	A1: Aí, acho que não professora.	
18'55''	029	P: O que pretendem fazer?	
19'16''	030	A1: Mede você agora ali na balança para ver, utilizando o mesmo material. Volta tudo.	
21'26''	031	A2: 546,2	
21'40''	032	A1: Vamos medir esse béquer sem, talvez foi esse valor.	(2) Utilizaram um béquer limpo.
23'50''	033	A2: Deu 145,4	
25'11''	034	A1: Massa é igual a 546,2 menos 145,4, 401 dividido por 400. Passou um pouquinho. Deu 1,002. Vamos, perai. Acho que vou fazer outra conta usando o outro béquer que eu fiz.	
25'19''	035	P: Fazer outra conta?	
25'35''	036	A1: Mas com o mesmo valor desse daqui do óleo mais o vidro, mas com aquele valor do béquer que eu fiz lá sem o óleo de 182,4.	
25'37''	037	P: Você acha que esse béquer é igualzinho ao outro?	
25'39''	038	A1: Ah, eu acho que não ou ela mediu errado.	
25'55''	039	P: Eles não podem ter massas	

		diferentes. Vale eu usar a massa desse com o volume do outro?	
26'55"	040	A1: É, acho que não. Então vamos usar com esse mesmo. A massa dele é 182,5 e a massa dos dois que ela fez deu 546,2. Deu 363,7 dividido por 400. Olha aí, aproximou mais. Deu 0,909.	
26'57"	041	P: Quais valores vocês utilizaram?	
27'14"	042	A1: Béquer sem o óleo 182,5 e com o óleo 546,2.	
27'16"	043	P: Estão satisfeitas com o valor?	
28'15"	044	A1: Ah eu ainda acho que é na balança que a gente não está vendo totalmente lá. Aqui também passou um pouquinho, mas mesmo passando um pouquinho o valor está dando menos.	(3) A aluna aponta para o conjunto béquer mais óleo utilizado na medida de 546,2 g.
28'35"	045	P: Então qual o valor da densidade?	
28'37"	046	A1: 0,909. Mas ficou muito longe.	
29'10"	047	P: Vocês parariam aqui vossas medições? O que fariam?	
29'34"	048	A1: Ah, eu mediria de novo, mas direitinho. Começaria tudo de novo sem, com o óleo, tudo de novo.	
29'38"	049	A2: Você vai medir?	
30'25"	050	A1: Não, pode medir. Ai mede esse aí certinho, tenta ver o máximo possível lá.	
30'48"	051	A2: Agora a massa desse vai ficar no 40.	
31'35"	052	A1: Esse aí já passou do outro. Certinho A2. Vê lá.	
31'35"	053	A2: Tá em ciminha.	
31'50"	054	A1: Tá em ciminha?	
31'56"	055	A2: Está, vem daqui para você ver.	
32'	056	A1: Conta lá.	
32'10"	057	A2: 145,4.	
34'20"	058	A1: Agora coloca o óleo lá. 400 certinho. Aqui tá menos. Deu né. Vai.	(4) Após iniciarem a pesagem, acrescentaram mais um pouco de óleo no béquer.
36'48"	059	A2: 517,6. Conta aqui.	
37'43"	060	A1: Tá, agora vamos fazer: massa é igual 517,6 menos 145,4. Faz certinho. Deu 372,2 dividido por 400. Ah, passou.	

37'45''	061	P: Quanto deu?	
37'48''	062	A2: 0,930.	
38'05''	063	A1: Tá vendo como é a medida, toda hora muda na balança.	
38'13''	064	P: A medida de que vocês acham? Da balança?	
38'15''	065	A2: É, porque o valor toda hora muda.	
39'35''	066	A1: Massa igual a 517,8 menos 145,4, deu 372,4 dividido por 400. Deu 0,931.	(5) Alteraram o ponteiro da balança em 2 g acima e repetiram o cálculo.
39'42''	067	P: O que pode ter influenciado no valor da medida?	
39'54''	068	A1: Acho que aumentou por causa da medida do, na hora de dividir pelo 145,4, se fosse menos na medida sem o óleo, ficaria menos.	
39'57''	069	P: Então deveria ter menos óleo?	
39'58''	070	A1: É.	
40'09''	071	P: A quantidade de óleo está correta?	
40'36''	072	A: Eu acho que passou bem pouquinho. Mas passou. Mas pode ser aqui também, sem o óleo, a medida que a gente tá vendo errado?	
40'46''	073	P: Quando tiraram o valor da medida do béquer sozinho?	
41'50''	074	A1: Vai lá A2, mede lá. Vê certinho.	(6) Retiraram um pouco do óleo.
43'08''	075	A2: 515.	
44'	076	A1: Massa é igual a 515 menos 145,4. Deu 369,6, dividido por 400. Deu 0,924. É o óleo que está a mais mesmo. Acho que tem que tirar mais um pouquinho. Tira só mais um pouquinho.	(7) Ao retirarem o óleo do béquer, o colocaram sobre a bancada para verificar se o volume estava no nível. Optaram por colocar um pouquinho de óleo de volta no béquer.
48'05''	077	A2: 511,3	
48'55''	078	A1: 511,3 menos 145,4. Deu 365,9 dividido por 400. Deu, quase: 0,914. Falta um pouquinho para dar o valor exato, quase.	
49'38''	079	A2: E se colocarmos esse aqui um pouquinho mais para frente?	(8) Apontando para o ponteiro dos décimos de gramas.
50'39''	080	A1: Mas vai cair lá. Mexe com a caneta para não mexer muito. Calma aí. Tá né? Certinho? Acho que não está não, olha aí. Deixa eu ver mais um.	
50'48''	081	A2: Acho que está.	
52'20''	082	A1: Está né? Vamos ver. Massa é	

		igual 512,5 menos 145,4. Deu 367,1 dividido por 400. Ahh, deu 0,917. Até que enfim. Deu 0,917 g/ml.	
52'25''	083	P: Fecharam? Então qual o valor da densidade.	
52'32''	084	A1: É 0,917 g/ml..	(9) Comemoraram o resultado.

ANEXO G – Transcrição do GE2

Tempo	Turno	Falas dos participantes	Acontecimentos relevantes
20"	001	A1: Vai pesando mais para frente, nem mexeu. Tenta mais um pouquinho.	
21"	002	A2: Passou.	
30"	003	A1: Vai olhando aí para mim.	
37"	004	A2: Pode mexer. Vai passar.	
38"	005	A1: Não, ainda tem mais um pouquinho.	
53"	006	A2: Mexe. Passou, volta um pouquinho, bem pouquinho.	
55"	007	A1: 154.	
1'	008	A2: Vírgula um.	
1'01"	009	A1: Não parou no quatro certinho.	
1'10"	010	P: O volume do óleo vocês podem escolher.	
2'09"	011	A1: Você vai colocar até 500? Espera, tem que deixar aqui no 100.	
2'25"	012	A2: Nem vai mexer.	
2'27"	013	A1: Não, tem que ser bem mais para chegar.	
2'45"	014	P: Passou?	
3'07"	015	A2: Nem chegou. Pode tirar um pouco de óleo professora? Fica mais fácil.	
3'08"	016	P: Pode.	
3'10"	017	A1: Põe no 400 que está bom.	
3'30"	018	A2: Vai lá de novo, põe até no 400. Calma.	
4'50"	019	A1: Nunca tinha visto que dava para medir o óleo.	
5'	020	A2: Demora para parar professora?	
5'05"	021	P: Sim, ela vai equilibrando.	
5'15"	022	A1: Deu 523,5.	
5'30"	023	A2: 523,5.	
5'32"	024	A1: Deu quanto?	
5'36"	025	A2: 520,5. É 523,5.	(1) Receberam instruções de como encontrar a massa só do béquer e

			encontrarem a densidade.
8'15"	026	A1: 0,92..	
8'24"	027	A2: Densidade é igual a 0,92375.	
8'25"	028	P: Quanto deu a densidade?	
8'28"	029	A1: Deu 0,92375.	
8'40"	030	P: Olha o valor tabelado. O que pode ter acontecido?	
8'43"	031	A1: Do número que estava deu bem mais.	
8'50"	032	P: Pode ter acontecido algo pra não ter dado aquele valor?	
9'12"	033	A1: Acho que nós colocamos óleo a mais. Poderíamos diminuir o óleo para 350.	
9'12"	034	A2: Pode diminuir?	
9'13"	035	P: Aí mesmo?	
9'14"	036	A2: Sim.	
9'40"	037	A1: Vai no 500.	
11'30"	038	A2: Não, 500 passa, tem que diminuir. Esse daqui tem que ser no 400, e esse no 70 passa.	
11'31"	039	P: Está faltando ainda.	
12'	040	A2: Olha lá, vai parar. Deu certo né.	
12'07"	041	A1: 471,5	
12'08"	042	A2: 470,5.	
13'20"	043	A1: Espera 471,5, e a massa do béquer é 154. Deu 317,5, dividido por 400.	
13'21"	044	A2: 1,...	
13'23"	045	A1: Deixa eu ver. 317,5 dividido pelo...	
14'	046	P: Pelo volume.	
14'18"	047	A1: Por 400, ah é por 350, por isso deu errado. Não ainda deu menos. Deu 0,0021.	
14'20"	048	A2: Vamos começar tudo de novo.	
15'09"	049	A1: Vai ficar 471,5 menos 154, deu 317,5 dividido por 350. Deu 0,907. Por um!	
15'20"	050	P: O que pode estar influenciando essa medida?	
15'23"	051	A1: Eu acho que é a massa do béquer.	
15'24"	052	P: O que pretendem fazer?	

15'40"	053	A1: Acho que diminuir mais o óleo, acho que 325 ou 300.	
15'42"	054	A2: Acho que 325.	
15'44"	055	A1: Acho que 300 se for 300 é muito, vai dar bem baixo.	
15'52"	056	P: Com esse mesmo conjunto que você tem? Mesmo béquer, mesmo óleo?	
15'55"	057	A2: Pode mudar de béquer?	
16'09"	058	P: Pode.	
16'25"	059	A2: Não, não põe o óleo ainda não. Vamos medir só o béquer.	
16'27"	060	A1: Vamos ver se vai dar 154. Põe no 100, no 50.	
17'55"	061	A2: Puxa mais um, no três.	
18'03"	062	A1: No três passa.	
18'44"	063	A2: Deixa aqui no meio, volta. Coloca no cinco, volta. Não vai dar, vem mais um pouco. Vem mais um, só um. Olha lá deu. Agora deu.	
19'10"	064	A1: Deu 182,4. É diferente do anterior. Vamos por 300, porque aumentou um pouquinho.	
21'01"	065	A2: Passou um pouco. Vem mais um pouco. Aí passa. Vem mais um. Mais um.	
21'20"	066	A1: Deu né? Deu 449,4.	
21'25"	067	A2: 449,4.	
22'	068	A1: O volume tá 300. 449,4 menos 182,4 dá 267, dividido por 300.	
22'05"	069	A2: Hum, deu 1,123.	(2) Sinalizaram negativamente com a cabeça quando compararam o valor encontrado com o valor tabelado.
22'15"	070	P: O cálculo está certinho? O que pode ter acontecido para dar esse valor?	(3) Repetiram os cálculos.
23'05"	071	A1: Eu acho agora que é a massa do óleo mais o béquer. Temos que diminuir.	
23'12"	072	A2: Por 250.	
23'14"	073	A1: Ou 350.	
23'15"	074	A2: Não tem que diminuir.	
23'19"	075	P: Vocês acham que é a massa que está influenciando?	
23'22"	076	A2: Acho que sim.	
23'24"	077	A1: Ou é a gravidade.	

23'30"	078	P: O que pretendem fazer?	
23'35"	079	A2: Diminuir mais 50 ml.	
24'	080	A1: 250. Espera aí, deixa eu marcar aqui.	
24'15"	081	A2: A massa do béquer é 471,5.	
25'09"	082	A1: Não, a massa do béquer é 182,4. Espera aí, vamos ver.	
25'16"	083	A2: Põe no 20. Deu?	
25'30"	084	A1: Acho que passou.	
25'35"	085	A2: Passou não.	
26'16"	086	A1: Deu 406 certinho. Então aqui a densidade é 406 menos 182,4, dividido por 250.	(3) Sinalizaram novamente com a cabeça em sinal negativo, ou seja, não encontram o valor tabelado.
26'30"	087	A2: Não deu exato ainda.	
26'34"	088	P: Quanto deu?	
26'37"	089	A1: Deu 1,118.	
26'39"	090	P: Não conseguem identificar nada que tenham feito errado?	
26'50"	091	A2: O óleo eu acho que não é. A massa do béquer talvez, porque a gente mudou já uma vez e um estava com um peso e o outro com outro e os dois são de 500 ml.	
26'50"	092	A1: Acho que se tentar com a massa do primeiro béquer que deu 154.	
26'55"	093	P: Mas qual é o primeiro béquer?	
26'59"	094	A1: É o de 154.	
27'07"	095	P: Mas qual é ele? Posso pegar a massa de um e medir com outro?	
27'09"	096	A1 e A2: Não.	
27'15"	097	P: Então o que teria que fazer?	
27'18"	098	A1: Acho que voltar naquele outro béquer.	
27'19"	099	A2: Muda de novo.	
27'22"	100	A1: Até deixar na medida certa.	
27'31"	101	A2: Põe só 200.	(4) As alunas foram advertidas pelo professor que medissem a massa do béquer antes de colocarem o óleo.
27'45"	102	A1: Põe 100. Passou. Mais um pouquinho.	
28'40"	103	A2: Pode vir mais um pouco, vem mais um, mais um pouco. Aí, passou. Volta um. Aí deu. Aí 145,5.	
28'50"	104	A1: Agora tem que por o óleo.	
28'57"	105	A2: Vamos por só 200.	

29'10"	106	A1: Passou de 200.	
29'40"	107	A2: Volume 200, marcou a massa do béquer.	(5) Trocaram o béquer e iniciaram uma nova medição.
30'15"	108	A1: 145,4	
30'30"	109	A2: Agora a gente vai por 250.	
30'35"	110	A1: Põe 200.	
30'38"	111	A2: 200 a gente já colocou, já foi.	
30'40"	112	A1: Põe 400, deixa só no 400.	
32'23"	113	A2: Volta 100.	
32'50"	114	A1: Não, agora vem com esse aqui. Deu?	
33'50"	115	A2: Vem mais um pouquinho. Pode vir. Volta. Espera. Deu. Volta. Deu. Não deu não, volta mais um pouquinho.	
33'52"	116	A1: Deu.	
34'02"	117	A2: Não deu não, estou vendo daqui. Agora deu, não passou.	
34'50"	118	A1: 513,4. Deu 0,92.	(6) Realizaram os cálculos.
34'53"	119	P: Melhoram vossa medida?	
35'	120	A1: Melhorou bem mais.	
35'02"	121	P: O que vocês fizeram de diferente agora?	
35'07"	122	A1: A gente aumentou a quantidade de óleo.	
35'19"	123	A2: Para 400. A gente percebeu que quanto mais estávamos diminuindo o valor do óleo (<i>volume</i>), mais estava aumentando o resultado (<i>densidade</i>), daí colocamos mais óleo e o resultado foi diminuindo.	
35'35"	124	A1: Agora se por no 450, acho que vai dar certo. Não tem que medir de novo o béquer?	
35'40"	125	A2: Não, o béquer já foi medido.	(6) Completaram o béquer com mais 50 ml de óleo.
36'30"	126	A1: Tá passando.	
36'44"	127	A2: Tá passando um pouquinho.	(7) Retiraram um pouco do óleo com um tubo de vidro.
38'58"	128	A1: 550, 560 certinho.	
39'51"	129	A2: Aumentou.	
39'54"	130	P: Deu 1,085 g/ml?	
39'58"	131	A1: Oh, tá 400.	
40'	132	P: Revejam os cálculos.	
40'50"	133	A2: Olha esse daqui passou.	

40'55"	134	A1: Eu acho que se por agora 400.	(8) Ajustaram a balança e obtiveram um novo valor para a massa mas que não alterou o valor da densidade.
43'18"	135	P: O que vocês acham que está influenciando, o quanto vocês põe ou a maneira como medem?	
43'22"	136	A1: A maneira como a gente põe.	(9) Receberam instruções de como olhar o nível de uma medida.
44'03"	137	A2: Acho que passou o óleo um pouquinho, tipo 451. Não pode medir assim?	
44'05"	138	P: Mas como vamos precisar que tem um?	
44'35"	139	A1: Não estou conseguindo retirar o óleo. Agora já sujou em volta, vamos ter que trocar novamente o béquer.	(10) Ao utilizar o tubo de vidro para retirar o excesso, deixou escorrer óleo pelas paredes do béquer.
44'37"	140	A2: Trocar novamente.	
45'	141	A1: Vamos trocar novamente, tirar a medida do béquer novamente.	
45'33"	142	A2: O primeiro béquer foi 154. Tínhamos colocado quantos ml de óleo?	
45'34"	143	A1: 400	
45'42"	144	A2: E se a gente diminuísse para 300?	
45'50"	145	A1: Deixa eu ver se esse béquer é o de 154.	
45'55"	146	A2: Se diminuísse para 370, daí acho que daria.	
46'08"	147	A1: 154. Esse é igual ao primeiro.	
46'45"	148	A2: Se aqui foi o mesmo béquer, tinha dado 154 g e colocamos 400 ml de óleo, se a gente aumentar o óleo aqui o resultado vai diminuir. Então a gente aumenta um pouco de óleo aqui para ver, porque aqui deu 0,923.	
46'50"	149	A1: Vamos por 400 de novo.	
46'53"	150	A2: Vamos por 400 e mais alguma coisa, 420.	
47'15"	151	A1: Eu acho que tem que colocar 400, só que a nossa medida está errada aqui, na hora de medir. Não tem que dar 154, deixa eu ver aqui.	
47'58"	152	A2: Eu acho que deveria aumentar, colocar 420 ml. Não é melhor colocar mais óleo, se coloca mais o resultado está diminuindo, se coloca menos o resultado está aumentando.	
49'02"	153	A1: Eu acho que tem que colocar o	

		mesmo tanto de óleo, a gente não pode deixar cair aqui (<i>paredes dos béquer</i>), tem que deixar cair direto ai no meio. Deixa cair direto no meio. Põe bem pouquinho, mais um pouquinho ainda. Deu.	
49'11"	154	A2: Volta um e vem com esse. Não tem que ser esse mesmo.	
49'38"	155	A1: No 20 passa, tem que ser no 10.	
50'53"	156	A2: Põe no 8. Não volta. Pode vir. Olha lá passou. Se olhar daqui está em cima.	
51'45"	157	A1: 518,4. Densidade deu 0,911. Está perto.	(11) Realizaram os cálculos.
51'50"	158	P: O que pode ter influenciado o valor da medida?	
51'56"	159	A2: Agora está certo, não tem óleo no béquer nem na balança.	
51'59"	160	A1: Pode ser o modo como a gente está medindo aqui.	(12) Aponta para a balança.
52'35"	161	A2: Vai lá, faz a conta de novo. Aumentou 5 gramas.	
52'55"	162	A1: Deu 0,911.	
53'15"	163	A2: Se a gente mexer mais vai passar.	
53'42"	164	P: O que mais pode influenciar no resultado?	
53'46"	165	A2: A gente mediu certo.	
53'50"	166	A1: A medida do óleo está certa.	
53'56"	167	A2: Não tem óleo na parede do béquer nem na balança. Tá certo.	
54'	168	A1: Passou.	
54'10"	169	A2: Não passou não. Se você olhar de cima passou, mas se olhar daqui está certo. O óleo está certo.	
54'17"	170	A1: O que pode estar errado? A medida do óleo não é, acho que é do béquer.	
54'26"	171	A2: Não, a do béquer está certa.	
54'40"	172	A1: Eu acho que é a do béquer.	
54'43"	173	A2: Falta 6 para chegar no resultado.	
55'10"	174	A1: Acho que é a medida do béquer. A medida do béquer tem que dar igual a da primeira, 145,5 igual a gente fez. Eu acho que se fazer com o mesmo tanto de óleo. Tá 219 dividido por 400. Não dá.	
55'29"	175	P: Vocês acham que o resultado tem	

		que dar igual?	
55'31"	176	A1: Tem sim.	
55'33"	177	A2: Eu acho que não.	
55'35"	178	A1: Tem resposta pra dar certo sim. Coloca um pouquinho mais de óleo.	
59"	179	A2: Parou, agora deu exata.	
59'03"	180	A1: Deu quanto?	
59'21"	181	A2: 569,5.	
59'41"	182	A1: 0,96	(13) Refizeram os cálculos.
59'50"	183	A2: A que mais chegou perto foi essa daqui de 0,913.	
60'32"	184	P: Olha a leitura da balança.	
60'35"	185	A2: Está marcado errado, é 519,5.	
60'37"	186	A1: Você falou.	
60'40"	187	A2: Eu tinha falado isso.	
61'21"	188	A1: 0,913.	
61'24"	189	P: Se aproximou mais do valor. É uma boa medida?	
61'27"	190	A2: Eu acho que sim.	
61'52"	191	P: Ficam com esse valor da medida?	
61'55"	192	A1: Mas eu acho que tem valor para dar certo.	
63'05"	193	P: O que vocês precisariam melhorar?	
63'50"	194	A1: 519,7	(14) Mediram novamente a massa do conjunto.
64'30"	195	A2: Olha o outro aumentou.	
65'30"	196	A1: Vamos tirar mais um pouquinho de óleo. Agora deu.	
66'18"	197	A2: Só foi uma turma que fez?	
66'20"	198	A1: Nós vamos utilizar o caderno inteiro e não vamos achar o resultado.	
66'23"	199	A2: 519,1.	
66'50"	200	A1: Densidade deu 0,912.	
67'01"	201	A2: Aí não to falando, aumentou.	
67'15"	202	A1: Aí tinha que estar na família dos 515.	
67'29"	203	A2: Ah, vamos deixar esse valor 0,913.	
67'33"	204	A1: 0,911 mais pertinho.	
67'44"	205	A2: Vamos deixar 0,913.	
67'55"	206	P: O que pode influenciar esse	

		resultado?	
68'04''	207	A2: Ah o óleo que estava na balança e nas bordas do béquer.	
68'12''	208	P: Depois o que vocês foram aprimorando?	
68'22''	209	A2: Fomos aprimorando a maneira de medir e melhorando o resultado.	

ANEXO H – Transcrição do GE3

Tempo	Turno	Falas dos participantes	Acontecimentos relevantes
1'04"	001	A1: Vamos esperar de balançar para ver. Acho que nem vai chegar lá, porque está mais para cima do que para baixo, está vendo?	
1'05"	002	A2: Oh, deu certo.	
1'23"	003	A1: Não, falta um pouquinho ainda. Pode ver que não está em ciminha. Oh, tá vendo, pode olhar assim que ainda falta um. Agora deu.	
1'25"	004	A2: Deu.	
1'52"	005	A1: 145,1 g. Esse daqui é do béquer. Agora vai ter que medir com o óleo.	
1'53"	006	A2: Aqui.	
2'18"	007	A1: Vamos por 500 ml.	
2'40"	008	A2: Já deu.	
3'28"	009	A1: Não, coloca mais um pouco. Isto. Vai passar, oh.	
3'29"	010	A2: Não, deu certo.	
3'35"	011	A1: Ficou mesmo, 600 ml.	
3'42"	012	A2: 500 ml, não é?	
4'03"	013	A1: É mesmo, em ml é 500. Volume do óleo é 500 ml, agora aqui quanto ele pesou é 600 ml.	
4'04"	014	A2: Não é 500?	
4'50"	015	A1: É 600, 500 daqui e 100 lá de trás, 600 certo? 600 gramas. Daí agora é a massa vezes o volume. O volume está representado em ml e a massa em gramas. Vamos lá. D que é igual 600 g dividido por... só que dessas gramas aqui vai ter que tirar ...	(1) Apontando para a marcação na balança.
4'51"	016	A2: Por causa que foi dado o valor lá.	(2) Referindo-se ao valor tabelado do óleo.
5'20"	017	A1: Não, é porque lá é para a gente chegar na conclusão, entendeu? É porque esse 600 tá querendo saber só o do óleo e não o do béquer com o óleo. Dessas gramas aqui tem que tirar dessa daqui, para saber quanto que está valendo só o óleo.	
5'23"	018	A2: Hum.	
6'	019	A1: 600 menos 135, que é 159.	

		Agora aquele lá é 454,9 g dividido por ...	
6'15"	020	P: Encontraram a densidade?	
6'20"	021	A1: A gente encontrou um aqui, mas não tem nada a ver com aquele valor. Deu aproximadamente.	
6'30"	022	P: O que pode ter acontecido? Identificam alguma coisa?	
7'10"	023	A1: A gente tirou o valor do béquer e o valor do béquer com óleo, e do béquer com óleo nós tiramos o valor só do vidro, que no caso deu 600 g menos 145,1, que daí foi o resultado da grama só do óleo, daí foi onde a gente passou para a fórmula que é massa dividido pelo volume, que no caso transferiu para grama dividido por ml, aí deu 600 dividido por 454,9.	
7'14"	024	P: E se eu perguntar qual o valor da densidade, vocês me diriam que é este aí?	
7'41"	025	A1: Mas aqui no caso A2, encontramos o erro. Aqui é 500 e não 600, eu peguei aqui a grama do vidro.	
8'08"	026	P: Quanto deu o valor?	
8'20"	027	A1: $d = 1,09914$.	
8'22"	028	P: Tá, qual a unidade de medida que você utilizou de acordo com a fórmula?	
8'50"	029	A1: É grama por ml.	
8'53"	030	P: E na sua fórmula?	
8'54"	031	A1: ml. É deu mais ou menos o resultado, 0,9098.	(2) Refizeram o cálculo.
9'35"	032	P: Aproximou do valor?	
9'38"	033	A1: Deu aproximado.	
9'50"	034	P: Vocês estão satisfeitas com esse valor?	
9'56"	035	A1: Sim, porque ali está dando o valor aproximadamente e não o valor exato.	
10'09"	036	P: Qual o valor da densidade? Confiam na vossa medida?	
10'10"	037	A1: Sim.	
10'20"	038	P: Então encerrariam, me diriam que a medida é essa?	
10'24"	039	A1: Sim.	

ANEXO I – Transcrição do GE4

Tempo	Turno	Falas dos participantes	Acontecimentos relevantes
13"	001	A1: Começa aqui no meio.	
15"	002	A2: Duzentos vai ser muito.	
38"	003	A1: Tem que esperar parar pra ver certinho se vai ficar em cima.	
1'	004	A2: Deu certinho, sem precisar mexer. Deu 180.	
1'03"	005	A1: 180.	
1'20"	006	A2: Só né. Agora o óleo. Hum, 300.	
1'34"	007	A1: 300? Então põe mais. Deu certinho, 300.	
1'50"	008	A2: Então põe 300 aqui que é a massa, opa, o volume.	
1'52"	009	A1: Então põe embaixo. Massa 180.	
2'	010	A2: Massa do béquer.	
3'	011	A1: Pode ir mais, nem saiu do lugar ainda, acho que vai dar no último. Passou, volta então no 400. 400 e 40, acho que vai dar um pouquinho acima.	
3'05"	012	A2: Acho que daria mais A1.	
3'48"	013	A1: Também não. 50 passou tem que ser no 40. Desce mais um pouquinho. Mais. Pronto.	
3'55"	014	A2: 8.	
4'54"	015	A1: Deu 440,8. Deu 442,8. Então é 442,8 menos 180. Deu 262,8.	
5'23"	016	A2: Densidade é a massa...	
5'24"	017	A1: Que deu 262,8 pelo volume.	
5'43"	018	A2: Dividido pelo esse 300 aqui? Dá 0,876.	
6'	019	P: Estão satisfeitas com este resultado? O que pode ter acontecido?	
6'08"	020	A2: Não, chegou perto. Será que a gente mediu errado?	
6'15"	021	A1: Deu aproximado mesmo, achei que ia dar um pouco mais.	
6'17"	022	A2: Mais 100 eu acho, não menos	

		um pouquinho ainda.	
6'23"	023	P: O que vocês gostariam de fazer?	
6'25"	024	A2: Medir de novo, pode?	
6'26"	025	P: Pode.	
6'35"	026	A1: Vamos zerar a balança.	(1) Utilizaram um béquer limpo.
6'55"	027	A2: Tira a medida agora.	
7'06"	029	A1: Passou, tem que ser no 100 mesmo.	
7'25"	030	A2: Não, mais. Vê no 60. Vai ser muito. 50.	
8'35"	031	A1: Mais um pouco, não. Agora deu hein. Vai mais um pouquinho, só mais um pouquinho.	
9'	032	A2: Então deu 154 certinho. Olha aí A1, não é 154?	
9'05"	033	A1: É 154,1.	
9'44"	034	A2: Vírgula um deu? Do béquer. Agora é o óleo. Tem que zerar.	
10'27"	035	A1: Vamos por 400 agora? Mais um pouquinho, só mais um pouquinho. Tá bom, agora deu.	
10'33"	036	A2: Agora é o óleo mais o béquer.	
11'	037	A1: Deu no último, deu no 500.	
11'05"	038	A2: Passou.	
11'40"	039	A1: Passou, então vamos voltar para o 10. Tá chegando, mais um pouquinho. Mais, não, não, volta.	
12'02"	040	A2: Volta mais ou está bom?	
12'05"	041	A1: Tem que esperar.	
12'10"	042	A2: Deu?	
12'19"	043	A1: Não, está um pouquinho para cima. Agora deu.	
12'28"	044	A2: Então deu 560... Não é 566?	
12'47"	045	A1: Não. É 519,4.	
12'57"	046	A2: Daí agora a gente tirou a massa dos dois. Daí agora a gente vai fazer a densidade, não é?	
13'02"	047	A1: Não tem que diminuir, tem que tirar igual aqui, entendeu?	
13'28"	048	A2: Vamos tirar 519,4 menos 145,1. Deu 365,3.	
13'30"	049	A1: Agora você divide...	
14'02"	050	A2: Agora é a densidade. Massa, dividida pelo volume. Daí a massa vai ser 365,3 e o volume vai ser 154 né?	

		Que é o de béquer. Opa, o volume vai ser 400.	
14'20"	051	P: Quanto deu?	
14'21"	052	A2: Não gente, um vírgula...	
14'22"	053	A1: Ah deu um?	
14'24"	054	A2: Não, vamos fazer de novo, peraf. Claro, olha aqui.	
14'53"	055	A1: Faz de novo, 365,3 dividido por 400.	
15'02"	056	A2: Humm, agora deu menos. Urrull. Deu 0,913.	
15'03"	057	A1: Só, já tá bom.	
15'09"	058	A2: 0.913 g/ml	
15'13"	059	P: Vocês ficaram satisfeitas com esse resultado?	
15'15"	060	A1: Agora sim professora.	
15'17"	061	A2: Com esse eu fiquei.	
15'23"	062	A1: Com esse eu fique. 0, 913 g/ml. Agora deu certo hein.	
15'30"	063	A2: Aumentou bem, de 876 para 913.	
15'36"	064	P: O que vocês acham que pode ter dado de diferente na primeira vez?	
15'43"	065	A1: Eu acho que foi que a gente não mediu certo.	
15'42"	066	A2: A massa né, você acha?	
15'44"	067	A1: Eu acho.	
16'07"	068	P: Quais fatores podem influenciar no resultado da medida? O que vocês poderiam fazer para que gerasse outro resultado?	
16'33"	069	A2: Aumentar a quantidade de óleo ou o tamanho do béquer, medir com atenção.	
16'36"	070	A1: Dessa vez nós medimos com mais atenção.	

ANEXO J – Transcrição do GE5

Tempo	Turno	Falas dos participantes	Acontecimentos relevantes
40"	001	A1: Põe no zero.	
1'28"	002	A2: Mas tem que tirar a medida dele. Tem que estar onde? Mais um vai passar. É isso mesmo. Deu 170, isso mesmo, 180.	
2'57"	003	A1: Deu 181,8.	
3'11"	004	A2: Agora tem que voltar tudo?	
3'12"	005	P: Sim, zera a balança.	
4'11"	006	A1: Coloca 300 ml. Tem que ficar sempre no 300 ou pode passar?	
4'13"	007	P: Pode, pode passar.	
5'22"	008	A2: Isso mesmo A1, 451. Passou, não tem como voltar mais. Não deu certinho não, professora	
5'23"	009	P: Passou?	
6'52"	010	A2: Deu certo já, é que ele não parou, tem que vir só mais um pouquinho. Ae, agora deu.	
7'04"	011	A1: Já deu, deu certinho.	
7'20"	012	A2: Deu 449,4.	
7'29"	013	A1: 449,4. Agora desconta?	
8'15"	014	A2: Pronto, professora.	
8'16"	015	P: Encontraram o valor da densidade? Que valor vocês encontraram?	
8'17"	016	A1 e A2: Sim, 267,6.	
8'22"	017	P: A densidade 267,6. Qual a unidade de medida utilizada?	
8'44"	018	A1: Foi grama, nós medimos em grama. Grama por ml.	
8'48"	019	P: Mas o que vocês me dizem do resultado?	
8'58"	020	A2: Aquela densidade que está lá é de quantos gramas?	(1) Referindo-se ao valor tabelado para a densidade do óleo.
9'02"	021	P: Aquela é a densidade do óleo.	
9'23"	022	A2: Então isso que deu a densidade...	
10'15"	023	A1: Não, a gente tinha que dividir aí	

		pra achar a densidade, porque pegamos o valor da massa do óleo, então o volume seria o que? A quantidade do béquer. A massa foi 266 dividido pelo volume que foi 300. Aí deu 0,982.	
10'23"	024	P: E aí, vocês ficam satisfeitos com esse resultado?	
10'27"	025	A1: Sim, porque se aproximou mais ou menos do valor que tinha que dar.	
10'40"	026	P: Vocês confiam na medida que obtiveram?	
10'42"	027	A2: Confiamos nesse valor aqui. Será que não tem nada errado?	
10'50"	028	A1: O que tem de errado?	
10'52"	029	A2: Não tinha que dar aquele valor aí?	
10'54"	030	A1: Não, aí está aproximadamente.	
11'	031	P: O pode interferir no resultado dessa medida?	
11'22"	032	A2: Cálculo, ter pesado errado alguma coisa, peso.	
11'28"	033	A1: Quer refazer?	
11'38"	034	A2: Está dando 300?	(2) Os alunos começaram a rever o nível do óleo, os cálculos, a marcação da balança.
11'39"	035	A1: Está.	
12'20"	036	A2: Está passando um pouquinho para baixo. Agora sim, vai dar 449,9.	(3) O A1 levanta-se e fica em frente à balança visualizando a marcação do nível do óleo.
12'33"	037	A1: Certo? E a massa do béquer, tem que arrumar?	
13'59"	038	A2: É a mesma, a gente não trocou. Calcula de novo, faz a conta. Deu 0,89, chegou perto. O que será que está errado aqui? O trezentos eu acho que está certo. E se colocasse um pouquinho mais.	
14'02"	039	A1: Está um pouco abaixo aqui.	(4) Acrescentaram um pouco de óleo utilizando um tubo de vidro.
15'40"	040	A2: Deu?	
15'49"	041	A1: Só mais um pouquinho. Agora deu.	
16'03"	042	A2: Agora sim. Agora subiu aqui.	
16'04"	043	A1: Tem que fazer ele descer.	
16'06"	044	A2: Então tem que subir no 10.	
16'20"	045	A1: Volta esse e aumenta 10. Tem que subir mais 10.	

16'23"	046	A2: Será?	
16'35"	047	A1: Volta.	
17'10"	048	A2: Certo.	
17'11"	049	A1: Não.	
17'20"	050	A2: Tá certo, tem que marcar aqui. Nesse daqui "ó".	
17'27"	051	A1: Não tem que ser aí ó. Você está marcando no lugar errado. Tem que descer mais um pouquinho.	
17'30"	052	A2: Na onde A1?	
17'45"	053	A1: Ele tem que ficar aqui, tá vendo. Bem nesse "risquinho" aqui.	
18'02"	054	A2: É, mais um pouco. Sobe. Agora sim.	
18'07	055	A1: Aqui no pontinho. Agora sim.	
18'33"	056	A2: Deu 452,9.	
18'36"	057	A1: 452,9?	
19'07"	058	A2: Isso. Tá errado.	
19'13"	059	P: Quanto deu?	
19'40"	060	A2: Tem que fazer menos. Tirar menos o do béquer. Menos 181,8. Dá 271,1.	
19'47"	061	A1: Dividido pelo 300. Tá certinho aí? Agora sim.	
19'48"	062	A2: Quase, faltaram poucas gramas.	
19'52"	063	P: Quanto deu?	
19'53"	064	C: 0,903.	
20'02"	065	A2: Se este daqui tinha que estar aqui mesmo, então a primeira medida do béquer nós fizemos errado aquela hora.	
20'10"	066	A1: De qual? Você fala a medida só do béquer? Medir sozinho?	
20'11"	067	A2: Eu estava medindo aqui "óh".	
20'17"	068	A1: É pelo risco ali.	
20'21"	069	A2: Vai dar diferente. E agora pra gente medir de novo.	
20'22"	070	A1: Você fala só do béquer.	
20'24"	071	A2: O óleo nós medimos agora. E quase chegou lá.	
20'29"	072	A1: Tem que dar o mesmo valor? Igualzinho?	
20'34"	073	P: O que vocês acham?	
20'37"	074	A2: Deu 14g.	

20'46"	075	P: O A2. disse que fez alguma coisa de errado.	
20'48"	076	A2: E para nós medirmos agora P.?	
20'54"	077	P: Vocês farão com esse mesmo?	
20'55	078	A2: Mas tem que tirar todo o óleo.	
21'19"	079	P: E daí?	(5) Os alunos pegaram um outro béquer.
21'20"	080	A2: Vamos medir de novo.	
22'35"	081	A1: Tem que voltar mais um pouco.	
22'39"	082	A2: Tá certo?	
22'40"	083	A1: Agora sim.	
22'45"	084	A2: Deu 145 g	
23'03"	085	A1: Tinha dado 181. Quanto?	
23'19"	086	A2: Deu 145. Agora tem que descontar, quanto é que deu? 478 menos 145. Divide por 300.	
24'15"	087	P: Quanto deu?	
24'17"	088	A1: Agora deu a mais. Deu 1,026.	
24'57"	089	A2: Uma hora passa outra diminui. Chegou perto. Tem que medir o óleo novamente, porque o béquer é diferente. Parecia ser tudo igual.	
25'12"	090	A1: Só mais um pouquinho.	
26'14"	091	A2: Mas olhando parece que o béquer é igual. Deu?	
26'41"	092	A1: Só mais um pouquinho. Certinho. Foi.	
27'59'	093	A2: Mais um pouco né? Mais um pouquinho.	
28"	094	A1: É.	
28'46"	095	A2: Certinho, 425. O béquer deu 145, desconta agora. Menos 145, dividido por 300.	
29'12"	096	A1: Dividido por 300. 0,933.	
29'22"	097	A2: E aí A1?	
29'23"	098	A1: Quase.	
31'56"	099	A2: Eu acho que passou um pouquinho o óleo, tinha que estar em cima da risca, mas passou um pouquinho. A diferença vai estar aqui. Eu acho que passou um pouco. Você não acha? Um pouquinho de nada, mas passou. Agora eu acho que está certo. Olha só a diferença, um pouquinho do óleo que a gente tirou. Nem dá mais, brincadeira cara.	(6) Retiraram um pouco do óleo, zeraram a balança e fizeram uma nova leitura.

		Agora sim.	
32'01"	100	A1: Eu acho que tem que voltar mais um pontinho, só mais um.	
32'27"	101	A2: Tá certo agora. 422 .. um, dois, três?	
32'28"	102	A1: quatro. 422,4.	
32'34"	103	A2: Menos o béquer. Menos 300.	
32'51"	104	A1: 300 não. 300 é o volume.	
32'53"	105	A2: Ou menos... cadê o valor aí?	
32'59"	106	A1: 145.	
34'10"	107	P: Quanto deu?	(7) Os alunos esboçaram risos e começaram a rever os cálculos, revisando os passos e valores utilizados.
33'47"	108	A2: Tem coisa errada aí. Tá errado ali.	
33'48"	109	P: Está errado?	
33'49"	110	A1: Deu 0,924.	
34'	111	P: O que vocês me dizem do resultado. O que influencia no valor da medida?	
34'18"	112	A2: O óleo está certo, o béquer também pesou certo. Será que não é a balança que está roubando? Não tem como.	
34'58"	113	A1: Isso por causa de um décimo já dá diferença.	
35'43"	114	A2: Não agora tá certo, olha lá. Aí, tá vendo ali, o risco é esse. Vem daqui que você vai ver.	
35'57"	115	A1: E o valor deu diferente?	
36'04"	116	A2: 2,56. Marca aí 422,6.	
36'56"	117	P: Quanto deu o valor da densidade?	
37'	118	A1: Deu 0,925	
37'25"	119	P: Aumentou. Tinha dado 0,924, agora 0,925. O que pode estar influenciando esse resultado?	
37'31"	120	A1: São os décimos né.	
37'38"	121	P: Então qual o valor da densidade que vocês encontraram?	
37'42"	122	A1: A última foi de 0,925.	
37'54"	123	P: Qual o valor da densidade que vocês declarariam em um teste?	
38'07"	124	A1: Colocaria o valor que mais se aproximava.	

38'23"	125	A2: O que mais se aproximou foi esse aí, por os outros aqui em cima deu 0,890. O que mais se aproximou foi o último.	
38'24"	126	P: Foi o último?	
38'42"	127	A2: Foi. Faz com sete aqui.	(8) Conferiram novamente os marcadores da balança.
39'12"	128	A1: Deu a mesma coisa.	
39'13"	129	A2: Um décimo dá a mesma coisa.	
39'20"	130	P: Então vocês fecham a vossa medida?	
39'21"	131	A2: Sim.	
39'28"	132	P: Fecham com a última?	
39'42"	133	A1: É porque como ali está aproximadamente, o valor exato mesmo não vai dar, é aproximadamente.	
39'54"	134	A2: Um décimo não deu nem diferença na calculadora.	

ANEXO K – OUTPUT do SPSS20 – Teste t da média dos desvios absolutos da densidade do óleo

T-TEST GROUPS=GRUPO(1,2)
 /MISSING=ANALYSIS
 /VARIABLES=DENSIDADE_DO_ÓLEO
 /CRITERIA=CI(.99).

T-Test

(Conjunto de dados)

Group Statistics

	GRUPO	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
DENSIDADE_DO_ÓLEO	1	10	,034480	,0260906	,0082506
	2	10	,009780	,0097915	,0030963

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	90% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
DENSIDADE_DO_ÓLEO	Equal variances assumed	2,531	,129	2,806	18	,012	,0247300	,0086124	-,0063661	,0500661
	Equal variances not assumed			2,806	11,486	,016	,0247300	,0086124	-,0024068	,0516668

ANEXO L – OUTPUT do SPSS20 – Teste t da média dos desvios absolutos da aceleração da gravidade

T-TEST GROUPS=GRUPO(1,2)
MISSING=ANALYSIS
VARIABLES=ACELERAÇÃO_DA_GRAVIDADE
(CRITERIA=C1(.99).

T-Test

[Conjunto_de_dados]

Group Statistics

	GRUPO	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
ACELERAÇÃO_DA_GRAVIDADE	1	10	,944370	,6509176	,2038302
IDADE	2	10	,050600	,0795749	,0251490

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	99% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
ACELERAÇÃO_DA_GRAVIDADE	Equal variances assumed	18,059	,000	4,267	18	,000	,8847700	,2073687	,2878715	1,4916685
	Equal variances not assumed			4,267	9,289	,002	,8847700	,2073687	,2157693	1,5537707

ANEXO M - OUTPUT do SPSS20 - Teste t da média dos valores experimentais da densidade do óleo

```
T-TEST GROUPS=GRUPO(1,2)
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=DENSIDADE_DO_ÓLEO
/CRITERIA=CI(.99).
```

T-Test

[Conjunto de dados]

Group Statistics

	GRUPO	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
DENSIDADE_DO_ÓLEO	1	10	,896670	,0386223	,0125297
	2	10	,909180	,0118411	,0037445

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	99% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
DENSIDADE_DO_ÓLEO	Equal variances assumed	3,677	,071	-,940	18	,368	-,0122900	,0130772	-,0499320	,0253520
	Equal variances not assumed			-,940	10,595	,368	-,0122900	,0130772	-,0532194	,0286394

ANEXO N – OUTPUT do SPSS20 – Teste t da média dos valores experimentais da aceleração da gravidade

T-TEST GROUPS=GRUPO(1,2)
 /MISSING=ANALYSIS
 /VARIABLES=ACELERAÇÃO_DA_GRAVIDADE
 /CRITERIA=CI(.99).

T-Test

[Conjunto_de_dados0]

Group Statistics

	GRUPO	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
ACELERAÇÃO_DA_GRAVIDADE	1	10	9,954570	1,1758889	,3718481
	2	10	9,762060	,0983932	,0311147

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	99% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
ACELERAÇÃO_DA_GRAVIDADE	Equal variances assumed	19,577	,000	,516	18	,612	,1925100	,3731476	-,8815731	1,2865931
	Equal variances not assumed			,516	9,126	,618	,1925100	,3731476	-1,0159320	1,4009520