UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências
e Faculdade de Educação

Uma interpretação para as dificuldades enfrentadas pelos estudantes num laboratório didático de Física

Fábio Marineli

Orientadora: Profa. Dra. Jesuína Lopes de Almeida Pacca

Dissertação apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Comissão examinadora:

Profa. Dra. Jesuína Lopes de Almeida Pacca - IFUSP

Prof. Dr. Zwinglio de Oliveira Guimarães Filho - IFUSP

Prof. Dr. José de Pinho Alves Filho - UFSC

SÃO PAULO

2007

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Marineli, Fábio

Uma interpretação para as dificuldades enfrentadas pelos estudantes num laboratório didático de Física São Paulo, 2007.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Instituto de Física. Departamento de Física Aplicada

Orientador: Profa. Dra. Jesuína Lopes de Almeida Pacca

Área de Concentração: Física

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. Realidade; 3. Laboratório didático; 4. Medida

USP/IF/SBI-044/2007

AGRADECIMENTOS

A elaboração dessa dissertação teve muitos altos e baixos. Nos momentos “altos” parece que conseguimos seguir mais facilmente com nossas próprias pernas; nos “baixos” é sempre bom contar com certa ajuda para podermos caminhar com mais firmeza e segurança. E eu gostaria de agradecer, principalmente, àqueles que prestaram importantes contribuições, ou a mim ou ao trabalho, nos momentos de maior necessidade, sem as quais essa dissertação não teria sido a mesma.

Assim, gostaria de agradecer à professora Jesuína, pela orientação a esse trabalho, pela paciência nas horas em que para mim tudo parecia difícil, e por transmitir segurança nos momentos em que eu mais precisei disso.

Aos amigos do corredor de ensino pelos momentos de descontração nos intervalos dos trabalhos, pelas conversas e trocas várias e por ouvirem alguns desabafos de vez em quando. Àqueles amigos mais próximos desse mesmo corredor, que além disso tudo também estiveram comigo em várias atividades, nas intermináveis horas de estudos das disciplinas, na realização de trabalhos diversos e nos diálogos nas reuniões do querido “grupo de estudos do Kuhn”.

Aos professores do programa que ajudaram com orientações específicas. Em especial, ao professor Maurício Pietrocola, pela orientação na monografia de final de curso que antecedeu esse trabalho de mestrado e pelas importantes contribuições dadas na qualificação desta pesquisa. À Elisabeth Barolli também pelas contribuições na qualificação.

Aos meus pais por terem dado condições sem as quais este trabalho não seria possível.

À Fabíola e ao Marcelo por cederem sua casa nos momentos em que eu precisei de um lugar mais tranquilo, tanto pra descansar quanto para dar andamento a este trabalho.

À minha princesinha pelos momentos de extrema alegria, que muitas vezes com um simples sorriso me fez esquecer dos problemas, e por mostrar que além do tempo cheio de prazos e metas a cumprir, existem momentos em que o mais importante é apenas sermos nós mesmos.

Aos amigos pela torcida e por terem sido compreensivos em relação às várias ausências desses últimos anos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, pelo apoio financeiro a este projeto.

RESUMO

O presente trabalho trata de algumas dificuldades de estudantes num laboratório didático de Física. Utilizando Relatórios de experimentos realizados pelos estudantes de um curso de laboratório do Instituto de Física da USP, analisamos o entendimento de conceitos típicos de um experimento de Física, como medida, incerteza, flutuação etc.

Uma análise qualitativa do conteúdo dos Relatórios mostra que as medidas são representadas quase sempre incorretamente e, quando corretas, têm uma interpretação equivocada: devem ser exatas, refletindo características completamente definidas dos objetos ou fenômenos e a influência de quem as realiza ou do instrumento de medida supera e obscurece o acesso às propriedades das grandezas.

Para a interpretação dos resultados encontrados utilizamos conceituações de realidade apresentadas por autores da área da sociologia; nos apoiamos no pressuposto de que a realidade da vida cotidiana, em que os estudantes estão imersos, é distinta da realidade considerada na perspectiva científica. Buscamos atribuir as dificuldades manifestadas pelos estudantes quando são convidados a medir, expressar e analisar os resultados de uma medida no laboratório, à concepção de realidade cotidiana que eles detêm.

Consideramos que as dificuldades enfrentadas pelos estudantes no trabalho no laboratório didático de Física têm um forte componente de uma concepção equivocada, de senso comum, relativa a certos aspectos do campo científico, mais do que um desconhecimento dos procedimentos estatísticos que comparecem na elaboração dos resultados.

ABSTRACT

The present work deals with some of the students' difficulties at a Physics teaching laboratory. Using experiment reports written by students in a laboratory course at the Physics Institute of USP we analyzed the understanding of typical concepts in a physics experiment like measurement, uncertainty, fluctuations etc.

A qualitative analysis of the reports content shows that measurements are very often represented incorrectly and when they are correct, the interpretation is wrong; the observer and measurement instrument influences surpass and conceal the intrinsic properties of a physical measurement.

For interpretation of the results we used reality concepts that have been presented by authors in the area of Sociology; we based on the assumption that students' everyday life reality is different from the reality as seen from a scientific perspective. We tried to connect the difficulties found by students when they have to measure, express and analyze results of a laboratory measurement, to their everyday life conceptions.

We consider that the difficulties found by students' in their Physics teaching laboratory have a strong component of a misleading conception, of common sense, in relation to certain aspects of the scientific field, rather than an ignorance of statistical procedures that are used in the elaboration of results.

Sumário

1 – Introdução	1
1.1 – “E o laboratório, está gostando?”	1
1.2 – Delineando nosso problema.....	4
2 – Discussões sobre realidade na filosofia	6
2.1 – O conhecimento e a filosofia	6
2.2 – Discussões atuais sobre realismo dentro da Filosofia da Ciência	9
3 – Discussões sobre realidade na sociologia	16
3.1 – Solução (pragmática) para o impasse	16
3.2 – O aspecto social da realidade	16
4 – O laboratório didático	25
4.1 – Teoria e laboratório	25
4.2 – As medidas e o laboratório didático	26
5 – Desenvolvimento da pesquisa	31
5.1 – Os dados e o referencial metodológico	32
5.2 – Categorias de análise	35
5.3 – O material escrito: frases de relatórios de diferentes experimentos	38
5.4 – Classificação das frases	68
6 – Análise do material escrito	70
6.1 – As concepções de senso comum e a realidade implícita	70
7 – Considerações finais	86
8 – Referências bibliográficas	91
Anexo 1 - guias das experiências e relatórios dirigidos	94

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – “E o laboratório, está gostando?”

Ao fazer uma pergunta como essa a um estudante de Física que frequenta aulas com atividades experimentais em laboratório, podemos obter todo tipo de resposta. No entanto, é comum serem observadas manifestações de desagrado frente a elas.

Manifestações desfavoráveis em relação ao laboratório se encontram inclusive no Orkut, que é uma comunidade virtual na Internet. Nele as pessoas podem se reunir, por afinidade, em comunidades menores, sobre os mais diversos assuntos. E há comunidades, inclusive, sobre laboratório didático, manifestando desagrados em relação a ele, como, por exemplo, a comunidade “*Eu ODEIO dia de laboratório!*”¹, a comunidade “*Eu Odeio Lab de Física Unicamp*”² ou, ainda, a comunidade “*Eu ODEIO Lab de Física*”³, essa última com 666 integrantes em 1º de dezembro de 2006.

Em especial, há uma que fala do laboratório didático do Instituto de Física da USP, com o título “*Eu odeio o lab do IFUSP*”⁴. Esta comunidade, criada em 30 de junho de 2004, contava, no dia 21 de maio de 2007, com 117 membros, decerto todos estudantes do IFUSP.

Sobre esse ponto, do desagrado dos estudantes frente ao laboratório, Thomaz (2000) argumenta que quando as atividades experimentais não são motivadoras, os estudantes não vêem interesse nelas, mesmo que para os professores as atividades pareçam interessantes e com estimulantes desafios intelectuais. Assim, as atividades experimentais se tornam enfadonhas para os alunos, que são “obrigados” a executá-las. E estes, muitas vezes, consideram essas atividades, bem como os relatórios exigidos em seguida a elas, como “perda de tempo”.

Se concordarmos com Thomaz em relação à motivação e ao interesse, ficaria a pergunta: por que essas atividades não seriam motivadoras para os estudantes?

Um ponto que chama a atenção nessas comunidades, inclusive a que participam alunos do IFUSP, é que em seus títulos aparecem expressões de ódio ao laboratório. Não de indiferença. Os alunos odeiam o laboratório, não são indiferentes a ele. Ou seja, apesar de considerarmos válido o argumento de Thomaz em relação à falta de motivação e

¹ <http://www.orkut.com/Community.aspx?cmm=799716>

² <http://www.orkut.com/Community.aspx?cmm=1700195>

³ <http://www.orkut.com/Community.aspx?cmm=44117>

⁴ <http://www.orkut.com/Community.aspx?cmm=130175>

interesse, talvez haja algo mais aí além disso, pois os alunos se mostram interessados a ponto de manter comunidades virtuais para manifestar suas opiniões.

Um outro ponto que aparece quando tratamos de laboratório didático é a famosa “cozinhada” nos dados. É bem possível que todos aqueles que já foram alunos de laboratório na universidade já tiveram algum tipo de notícia de alguém que já procedeu dessa forma ou, então, já tenha feito isso. Além de outras coisas, isso mostra que parece ser desagradável aos estudantes seguir todos os passos determinados pelo professor / apostila para a obtenção dos dados do experimento, com procedimentos muitas vezes rotineiros. Ainda mais quando os resultados obtidos não são os esperados.

Sobre esse ponto, de dados sendo “cozinhados”, ou seja, alterados, há um episódio documentado no trabalho de Barolli (1998), onde após a obtenção de alguns valores discrepantes, os estudantes fazem uma alteração nesses valores. Nesse caso, a autora considera que a alteração dos valores realizada pelos estudantes parecia ganhar significado num contexto onde a perspectiva era, sobretudo, garantir a coerência dos dados.

Seja qual for o motivo – busca de coerência, preguiça de realizar mais medidas, não entendimento da necessidade de muitas medidas, não entendimento da flutuação dos dados etc. – é inegável a existência disso nos laboratórios didáticos. E é bem provável que na lembrança dos tempos de estudante daqueles que já cursaram esses laboratórios há certo tempo esteja justamente esses episódios.

Bem, como se não bastasse, ainda há mais um outro problema famoso nos laboratórios didáticos que é a cópia de relatórios. Ou mesmo a compra deles. Parece que o pensamento do estudante que faz isso é: se nos anos anteriores outros estudantes fizeram as mesmas experiências, como será possível para o professor descobrir que os dados, bem como as análises apresentadas, não são de agora? E, copiando tudo, o estudante se livra daquela atividade enfadonha da confecção do relatório que toma muito tempo dele.

Tudo isso, as manifestações explícitas de desagrado, bem como a recusa velada em cumprir as atividades propostas (seja inventando dados, seja copiando relatórios) mostra que para os estudantes as atividades experimentais não são necessariamente um mar de rosas. Há algo que incomoda nelas.

Além do incômodo, os estudantes também têm certas dificuldades nos trabalhos no laboratório. Por exemplo, Medeiros (1995) apresenta em sua pesquisa algumas das dificuldades dos estudantes de um curso de laboratório na Universidade Federal da Paraíba. Dentre elas está, por exemplo, a dificuldade no entendimento do que seja um Algarismo significativo ou do significado de uma incerteza. Já Séré et al (1993), em suas

pesquisas com laboratório didático, concluíram, entre outras coisas, que os estudantes não entendem a necessidade de fazer várias medidas e de calcular as incertezas.

As dificuldades dos estudantes nos trabalhos no laboratório nos motivaram, em certo sentido, na realização de um trabalho de iniciação científica, entre os anos de 2001 e 2003, orientado pela professora Jesuína Pacca, onde foram pesquisadas as representações e concepções dos estudantes relacionadas às medidas e demais conceitos ligados às atividades experimentais. Durante o ano de 2001, permaneci como monitor de uma disciplina de Física Experimental do curso de Licenciatura em Física da USP, e os exercícios e relatórios realizados pelos estudantes dessa disciplina foram utilizados como dados em nossa pesquisa. Nossa preocupação estava em compreender os resultados inadequados do trabalho dos estudantes no laboratório de Física, além da simples atribuição de descuido com as medidas, de dificuldades com os cálculos envolvendo estatísticas ou de desconhecimento dos aparelhos de medida. Dentre os resultados obtidos, foi possível perceber, por exemplo, as dificuldades dos alunos em conceber que medidas flutuam, em trabalhar com Algarismos significativos, em diferenciar erros sistemáticos de aleatórios e em compreender a necessidade e o significado da incerteza de uma medida. Alguns dos resultados desse trabalho estão em Marineli et al (2003).

Já naquela época chegamos a levantar a hipótese de que algumas dessas dificuldades dos estudantes no laboratório estavam na concepção de realidade deles. Isso nos motivou, posteriormente, a pesquisar o assunto e realizar um outro trabalho, na forma de uma monografia de final de graduação, sobre algumas concepções de realidade dos estudantes, sob a orientação do professor Maurício Pietrocola. Dessa vez o trabalho não tinha relação com laboratório didático, o material para a pesquisa foi um questionário respondido por estudantes que cursavam a disciplina Metodologia para o Ensino de Física II, ministrada pelo próprio professor Maurício Pietrocola no segundo semestre de 2003, onde pretendíamos verificar os critérios utilizados pelos estudantes para definir a realidade atribuída aos objetos presentes nas representações de mundo. Entre os resultados desse nosso trabalho, verificamos a concepção de que quanto mais concreto e mais presente no dia-a-dia, mais um objeto é tido como real. Até para os entes da ciência, cujas justificativas de sua realidade eram, em sua grande maioria, teleológicas – ou seja, se referiam à existência de uma finalidade, importância ou utilidade para o ente em questão –, observou-se que quanto mais próximos da vida cotidiana e dos sentidos, mais reais foram considerados.

A presente dissertação, em certo sentido, nasceu desses dois trabalhos relatados sucintamente acima, numa tentativa de unificar dois campos tratados distintamente, mas que consideramos possuírem uma problemática em comum: como a idéia de realidade influencia na aprendizagem e concepção da Física.

1.2 – Delineando nosso problema

Em nosso trabalho de iniciação científica citado anteriormente, nossa questão de pesquisa se relacionava com as dificuldades dos estudantes no trabalho de laboratório. Na presente dissertação essa questão de pesquisa se mantém, mas com uma abordagem diferente, que busca interpretar essas dificuldades utilizando uma discussão sobre a realidade trazida da sociologia. Nossa proposta não é verificar a aprendizagem ao longo de um curso de laboratório, mas tentar organizar as idéias dos estudantes diante de experimentos que são aí realizados e interpretá-las de acordo com o referencial adotado.

Para tratar dessa questão, vamos recuar um pouco até uma discussão em relação ao conhecimento humano. Tratamos, no Capítulo 2, sobre questões concernentes à realidade e à possibilidade de acesso a ela, nos apoiando em discussões da filosofia. Apesar de, filosoficamente, o problema não ter solução definitiva, as pessoas lidam com essa questão, mas de uma forma que passa longe das discussões filosóficas. Esse problema, de um modo geral, é resolvido de forma pragmática, e tratamos disso no Capítulo 3, nos apoiando numa discussão sociológica, derivada do problema da realidade. No Capítulo 4 entramos numa discussão sobre o laboratório didático, naquilo que interessa para o presente trabalho, e em como essa questão concernente à realidade aparece nele, devido ao fato que nos trabalhos realizados no laboratório haver a necessidade de se conectar teorias com o mundo.

No Capítulo 5 apresentamos nossos dados, as categorias de análise e a classificação dos dados nas categorias. Nos apoiamos em parte do material já utilizado na pesquisa de iniciação científica, nos relatórios desenvolvidos por duas turmas de uma disciplina de laboratório, ocorrida em 2001, do curso de Licenciatura em Física da USP. Para a presente pesquisa consideramos que os erros e as dificuldades dos estudantes em seus trabalhos no laboratório têm por trás, entre outras coisas, a forma como concebem a realidade. Utilizando uma metodologia de análise qualitativa, buscamos interpretar os erros e as dificuldades apresentadas pelos estudantes em seus relatórios, organizando os dados através de categorias e, a partir delas, procuramos obter uma possível articulação e interpretação, não observadas de forma imediata, com estrutura e natureza do que se considera uma forma de conceber a realidade e as formas de acesso a ela. Essa articulação

e interpretação se encontram no Capítulo 6. Finalmente, no Capítulo 7, apresentamos nossas considerações finais.

Parte dos resultados obtidos no presente trabalho, com uma análise parcial dos dados, encontram-se publicados (MARINELI e PACCA, 2006).

2 – DISCUSSÕES SOBRE REALIDADE NA FILOSOFIA

2.1 – O conhecimento e a filosofia

O conhecimento humano está intimamente relacionado à tentativa de compreensão que o sujeito faz do mundo que o rodeia. Para o estudo do fenômeno do conhecimento, há inclusive um ramo da filosofia, a Teoria do Conhecimento, que investiga como é possível o conhecimento e em que bases ele se assenta. Ela, junto com a lógica, forma uma parte da filosofia conhecida como Teoria da Ciência. E além dessa última, segundo Hessen (1987) a filosofia se divide ainda em Teoria dos Valores e Teoria da Concepção do Universo.

A Teoria do Conhecimento define que o conhecimento representa uma relação entre um sujeito e um objeto. E o verdadeiro problema do conhecimento consiste no problema da relação entre esses. Na dimensão cognitiva, além do sujeito e do objeto, temos, ainda, a representação desse naquele.

Soluções metafísicas para o problema do conhecimento, que são aquelas que fazem alguma referência ao caráter ontológico do objeto, são basicamente duas: o idealismo, que admite que todos os objetos possuem um ser ideal, mental; e o realismo que afirma que além dos objetos ideais, há os objetos reais, independente do pensamento (HESSEN, 1987). Dentro dessas duas posições fundamentais, são possíveis, por sua vez, distintas posições.

Dentre as diversas modalidades do realismo⁵ temos, por exemplo, o *Realismo Ingênuo*, que não se acha influenciado por nenhuma reflexão crítica acerca do conhecimento. O problema da relação entre sujeito e objeto não existe aqui, uma vez que não faz distinção entre a representação do objeto no sujeito e o próprio objeto. Uma outra modalidade seria o *Realismo Natural* que já está influenciado por reflexões críticas sobre o conhecimento. Isto se revela no fato de que já não identifica o conteúdo da percepção e o objeto, mas sim distingue um do outro. Mesmo assim, sustenta, assim como o realismo ingênuo, que os objetos correspondem exatamente aos conteúdos da percepção. Para o defensor dessa forma de realismo é tão absurdo como para o realista ingênuo que o sangue não seja vermelho, ou que o açúcar não seja doce, mas sim que o vermelho e o doce só existam na nossa consciência. Também para eles essas são propriedades objetivas das coisas. Temos, ainda o *Realismo Crítico*, que possui essa denominação porque se assenta

⁵ As classificações do Realismo e do Idealismo apresentadas aqui se encontram todas em Hessen (1987).

em considerações críticas em relação ao conhecimento. Não acredita que convenham às coisas todas as propriedades inseridas nos conteúdos da percepção, mas coloca que algumas delas existam somente em nossa consciência quando determinados estímulos externos atuam sobre os nossos órgãos dos sentidos. Essas não teriam, pois, caráter objetivo, mas sim subjetivo. É, no entanto, necessário supor nas coisas certos elementos objetivos e causais para explicar o aparecimento destas qualidades. O fato do sangue nos parecer vermelho e o açúcar doce têm de estar fundado na natureza destes objetos.

Esse último tipo de realismo faz a defesa de sua tese fundamental – que há objetos independentemente da consciência, tese essa que é comum às outras formas de realismo –, utilizando argumentos como a inter-individualidade dos objetos, ou seja, esses podem ser percebidos por vários sujeitos; a independência das percepções dos objetos em relação à vontade, o que demonstra que os objetos são independentes do sujeito que os percebe; e, finalmente, a independência dos objetos da percepção em relação às próprias percepções, ou seja, os objetos continuam a existir mesmo que não sejam percebidos. Em relação a esse último argumento, podemos encontrar um objeto no mesmo local que o deixamos anteriormente, ele não deixa de existir depois de o abandonarmos.

A antítese do realismo é o idealismo, que, em sua versão epistemológica, advoga a não existência de coisas reais independentes da consciência. Suprimidas as coisas reais, ficam somente duas classes de objetos: os da consciência e os ideais. E isso define duas formas de idealismo, o subjetivo ou psicológico e o objetivo ou lógico. O primeiro, o subjetivo, trata a realidade como encerrada na consciência do sujeito; as coisas são conteúdos da consciência e essa, com seus vários conteúdos, seria a única coisa real. O segundo, o objetivo, não trata como real os processos psicológicos, mas sim um conjunto de pensamentos, de juízos. Não reduz o ser das coisas a serem apercebidas, como o idealismo subjetivo, mas faz distinção entre o dado da percepção e a própria percepção. Mas não vê nesse dado uma referência a um objeto real, como faz o realismo, mas sim uma incógnita que precisa ser definida. O objeto do conhecimento seria, assim, um produto do pensamento.

Tomemos um bocado de gesso. Para o realista o gesso existe fora e independente da nossa consciência. Para o idealista subjetivo o gesso existe só na nossa consciência. O seu inteiro ser consiste em que o apercebemos. Para o idealista lógico o objeto não existe nem em nós nem fora de nós; não existe pura e simplesmente, necessita de ser concebido. Mas isto tem lugar devido ao nosso pensamento. Formando o conceito de gesso, o nosso pensamento concebe o

objeto gesso. Para o idealista lógico, o gesso não é, portanto, nem uma coisa real nem um conteúdo da consciência; é um conceito. O ser do gesso não é, segundo ele, nem um ser real nem um ser consciente, mas um ser lógico-ideal. (HESSEN, 1987: 105)

As duas formas de idealismo apresentadas, apesar das diferenças essenciais entre elas, possuem a mesma concepção fundamental: a tese de que o objeto do conhecimento não é algo real, mas ideal. E a defesa disso é feita nos seguintes termos.

A idéia de um objeto independente da consciência é contraditória, pois, no momento em que pensamos num objeto, fazemos dele um conteúdo da nossa consciência: se afirmamos simultaneamente que o objeto existe fora da nossa consciência, contradizemo-nos com isso a nós próprios; portanto não há objetos reais extra-conscientes, mas toda a realidade acha-se contida na consciência. (HESSEN, 1987: 107)

A caracterização do idealismo, bem como a do realismo, não se esgota nessas breves linhas. Fizemos aqui uma breve e superficial exposição. E as possíveis defesas dessas diferentes abordagens, que não apresentamos aqui, também não caberiam nesse trabalho. Mas o que consideramos importante salientar com tudo isso é que as duas abordagens são coerentes e a solução para o problema do conhecimento não admite soluções simples, nem tampouco absolutamente seguras.

Apesar de, aparentemente, essa discussão filosófica parecer longe do contexto do ensino de ciências, ramificações dela estão presentes ainda hoje em debates contemporâneos na área de ensino. Mesmo que utilizando outras roupagens, ou mesmo não utilizando os mesmos argumentos dos filósofos, o problema do conhecimento também bate na porta do ensino de ciências, pois este está intimamente relacionado ao conhecer.

Somente para citar um exemplo, num artigo em que eram discutidas as implicações de certas concepções construtivistas e empiristas radicais, Pietrocola (1999) afirma que:

[...] é possível admitir a existência de um nível ontológico sem contudo aceitar que seja possível atingi-lo, como defendido por boa parte das epistemologias relativistas. Neste sentido, uma opção epistemológica que valoriza em excesso a dimensão psicocognitiva pode implicar numa desvalorização crônica do domínio ontológico, como parece ser o caso do construtivismo radical. O contrário também é verdadeiro. Pois, ao optar por uma epistemologia que valoriza em excesso a dimensão ontológica do conhecimento, podemos perder de vista o

papel dos processos cognitivos para sua apreensão, como parece ter ocorrido com toda tradição empiricista ingênua. Assim, no contexto da produção de conhecimento sobre o mundo, a autonomia dos domínios ontológicos e cognitivos é relativa e subordinada à estruturação mais geral da qual ambas fazem parte. Particularmente quando procuramos tratar a questão do realismo ambos devem ser considerados e suas implicações avaliadas.

No trecho acima, as expressões “domínio ontológico” ou “processos cognitivos” tocam em questões semelhantes àquelas apontadas pelas correntes realistas e idealistas, o que mostra que as questões do conhecimento, de há muito tratadas pela filosofia, se fazem presentes também na área de ensino de ciências. Lembrando, ainda, que tanto o objeto quanto o sujeito estão presentes no fenômeno do conhecimento, ou seja, estão presentes tanto o “domínio ontológico” quanto os “processos cognitivos”.

2.2 – Discussões atuais sobre realismo dentro da Filosofia da Ciência

A discussão mais geral sobre o conhecimento também possui suas ramificações em relação ao conhecimento científico. A elaboração de conhecimentos teóricos, tal como feita pela ciência, em diversas ocasiões resulta numa maneira diferente de conceber o mundo, numa outra forma de perceber a realidade, que pode inclusive entrar em conflito com concepções que eram hegemônicas até então. E isso, aliado a outras coisas, pode causar questionamentos em relação ao conhecimento produzido pela ciência.

O conhecimento científico, pela sua consistência e seu alcance, tornou-se aceito como uma forma privilegiada de descrever, explicar e até mesmo prever aspectos do mundo. E nesse empreendimento, a ciência segue um caminho bastante específico em relação a uma posição epistemológica.

Uma ciência natural como a Física, pelo menos em princípio, já parte de uma posição epistemológica *Realista* (EINSTEIN apud ROCHA BARROS, 1978: 101) e busca “desvendar” a estrutura do mundo. Essa concepção realista parece clara, uma vez que a ciência realiza experimentos para adquirir conhecimento sobre o mundo, o que demonstra a idéia da independência dos objetos em relação à consciência; que os objetos do mundo possuem um ser real, passível de ser apreendido, diferente do que pregam as concepções idealistas apresentadas anteriormente, que os objetos do mundo possuem somente um ser

ideal. E em considerando que o conhecimento do mundo não é algo subjetivo, ideal, cria-se a possibilidade de um conhecimento verdadeiro ser buscado no próprio mundo.

Dessa forma, tal como a idéia de Einstein apresentada acima, parece que a ciência trata de forma pragmática o problema do conhecimento. Weinberg, defendendo uma postura *realista*, comenta, enfaticamente, “[...] que dizer para um físico que as leis da natureza não são explicações dos fenômenos naturais ‘*é como dizer para um tigre caçando sua presa que toda carne é grama*’” (apud LABURÚ e SILVA, 2000). E para um físico contemporâneo, em geral, a garantia de que o conhecimento científico se refere ao mundo está no sucesso das previsões com dados numéricos. Isso demonstraria a matemática ao limitar o número de formas possíveis de o conhecimento físico se adequar aos experimentos.

No entanto, essa comparação enfática de Weinberg pode mascarar o problema de fundo que é o problema do conhecimento. Ainda mais que o avanço da ciência nos últimos séculos implicou em uma transformação nas formas de nos relacionarmos com o mundo; o mundo em que vivemos hoje é povoado por objetos cujo acesso não se restringe aos nossos cinco sentidos básicos. Os objetos que hoje fazem parte da representação científica do mundo estão distantes dos nossos sentidos: átomos, campos, vírus etc. só podem ser acessados através de uma mente bem treinada nas teorias científicas.

O conhecimento produzido pela ciência, que inclui novas formas de conceber a realidade, passou a ser uma das preocupações nos estudos em Filosofia da Ciência, em especial nas formas em que as teorias científicas apreendem o mundo real, permanecendo como pano de fundo o problema do conhecimento. Segundo Dutra (1998), as discussões em torno do realismo científico têm sido, nos últimos anos, um dos pontos altos nos debates entre filósofos da ciência.

Assim, a questão que fica é: as hipóteses científicas acerca do mundo, que muitas vezes fazem referência a entidades que estão distantes dos nossos sentidos, conseguem tratar de alguma forma da estrutura do mundo, são reflexos de estruturas que existem independente de nossas teorias, ou são apenas construções mentais, categorias explicativas sem nenhuma autonomia ontológica, que não possuem existência independente de nossas crenças científicas?

Esse questionamento não se apóia somente nas referências que a ciência faz a entes que não podem ser percebidos pelos sentidos, mas também porque de um lado as teorias científicas estão sujeitas a mudanças e desenvolvimentos e, por outro, o mundo não está sujeito a mudanças tal como as teorias.

Sobre a relação entre as teorias e o mundo, vamos fazer aqui uma breve discussão que diz respeito a duas posições: o realismo e o anti-realismo. Desse último, utilizaremos principalmente sua versão instrumentalista. Não pretendemos aqui fazer uma ampla discussão dessas posições e sim colocar o problema filosófico trazido por elas. E, nesse sentido, apesar de existirem outras formulações do anti-realismo além da instrumentalista, consideramos que essa já é suficiente para nossos propósitos.

De um modo bem geral, numa visão realista as teorias científicas descrevem verdadeiramente como o mundo é; esta visão é baseada na idéia da existência de um mundo exterior independente de nossos conhecimentos e experiências e que a ciência busca alcançar informação substancial e correta de aspectos do mundo. Já para a visão anti-realista, que se opõe à anterior, as teorias científicas são apenas instrumentos úteis para se obter previsões observáveis. O sentido da ciência não provém da tentativa de representar um mundo que existe independentemente de nós, mas sim em virtudes pragmáticas das teorias. Essas não tratam necessariamente o mundo tal com ele é, mas uma teoria seria aceita desde que funcione adequadamente.

Para ficar mais claro vamos utilizar um exemplo. A interpretação realista da teoria cinética nos gases é a de que os gases são realmente feitos de moléculas em movimento aleatório, colidindo umas com as outras e com as paredes do recipiente que as contém; já a interpretação instrumentalista diria que as moléculas a que se refere a teoria constituem ficções convenientes que habilitam os cientistas a fazer relações e previsões sobre manifestações observáveis das propriedades dos gases (CHALMERS, 1993).

Apesar de ser uma discussão atual, algo semelhante já apareceu em outras ocasiões na história da ciência, como, por exemplo, com George Berkeley se recusando a aceitar as conseqüências realistas da mecânica de Newton, uma vez que essas não poderiam ser observadas diretamente através dos sentidos (SILVA, 1998). Assim, para Berkeley, força, inércia, gravidade, não seriam entidades realmente existentes – como pensava Newton –, mas criações teóricas, sem nenhuma referência externa. Seriam categorias explicativas, sem autonomia ontológica. Elas acomodariam, de forma bastante razoável, o material da experiência, mas não fariam referência a entidades extra-teóricas.

Um ponto que merece destaque nessas posições é a questão do teor de verdade que atribuem às teorias científicas. A noção de verdade faz parte da concepção realista; o mundo, para o realista, existe independente de nossas teorias, e essas são verdadeiras à medida que descreve corretamente algum aspecto do mundo. Ou seja, “(...) os realistas assumem uma concepção da verdade como correspondência (que é a mesma da prática

cotidiana): uma teoria é verdadeira se o que ela diz corresponde ao mundo ou às coisas das quais ela fala” (DUTRA, 1998: 30). Já na concepção anti-realista a noção de verdade é mais restrita; adota o mesmo critério dos realistas para aquilo que é observável, mas as elaborações teóricas relativas àquilo que é não-observável não devem ser julgadas em termos de verdade ou falsidade, mas em termos de sua utilidade como instrumentos, seu valor reside na sua capacidade preditiva e explicativa.

Essa distinção entre aquilo que é observável daquilo que é não-observável, segundo Chalmers (1993), é um ponto frágil da concepção anti-realista, uma vez que, mesmo macroscópicos, os termos observacionais também estão impregnados de teoria⁶.

Da discussão recente em torno desse assunto, temos que um dos argumentos contra o realismo, e conseqüentemente uma possível defesa do anti-realismo, provém da questão de um mesmo evento poder ser explicado de diferentes modos. Esse é um argumento metodológico conhecido como *subdeterminação da teoria pelos dados*. Essa tese sustenta que para um mesmo conjunto de dados poderia haver mais de uma teoria que os representasse; e essas teorias empiricamente equivalentes (que coincidem no que afirmam a respeito do que é observável) poderiam conflitar em suas afirmações sobre entidades inobserváveis. Assim, por não haver como determinar com base nas evidências experimentais qual delas é verdadeira, não haveria base empírica para acreditarmos nas entidades teóricas postuladas por uma teoria empiricamente adequada, pois teorias rivais, observacionalmente indistinguíveis, poderiam incluir em sua ontologia inobserváveis de diferentes tipos.

No entanto, esse argumento metodológico não é livre de problemas. Ele não leva em conta o avanço da ciência e que as evidências empíricas podem variar de acordo com o progresso das teorias, que o que se entende por observável pode se alterar com o desenvolvimento das nossas idéias científicas. Ou seja, as evidências empíricas da tese da subdeterminação poderiam ser revistas por uma nova teoria (SILVA, 1998: 10).

Outro problema seria o de demonstrar que para toda teoria haveria alternativas teóricas empiricamente equivalentes. Plastino (1995) se expressa da seguinte forma sobre esse ponto:

Estritamente falando, não há uma prova da suposição quineana de que, para qualquer teoria científica, sempre existem teorias genuinamente rivais que a ela

⁶ Sobre esse ponto, Kneller (1980) também afirma que os dados estão impregnados de teoria, na medida em que as teorias dirigem nossa atenção para coisas que não haviam sido descortinadas antes, além de influenciarem o que vemos e quando vemos.

se equivalem empiricamente, embora Quine [...] espere um “amplo acordo” a esse respeito. E ainda que seja natural admitir que em alguns poucos casos (apesar do grande esforço empreendido pelos cientistas) exista mais de uma alternativa igualmente bem-sucedida, daí não se segue que sempre existam na ciência equivalentes empíricos a qualquer teoria que salve apropriadamente os fenômenos de um certo domínio. Ao contrário, são raros, isolados e discutíveis os exemplos históricos em que se encontram alternativas teóricas empiricamente equivalentes.

Já uma defesa do realismo pode ser conseguida pelo “*argumento da coincidência cósmica*”⁷ (SMART apud CHIBENI, 1996), que utiliza o êxito empírico da ciência como critério para defender o realismo. Esse êxito empírico⁸ também é utilizado por Barra (1998) para a mesma defesa. Chalmers (1993: 191) também utiliza um argumento semelhante nesses termos: “O fato das teorias poderem levar a predições novas é motivo de embaraço para instrumentalistas. Deve parecer a eles algum tipo estranho de acidente que as teorias, que se supõe serem meros esquemas de cálculos, possam levar à descoberta de novos tipos de fenômenos observáveis por intermédio de conceitos que são ficções teóricas”.

Mas também o sucesso preditivo da Ciência, o êxito empírico, não é livre de problemas. Uma análise histórica da ciência também mostra certa inadequação na tentativa de justificar o realismo com base em sua explicação do êxito científico. Existiram teorias científicas que apresentaram considerável êxito em sua época, mas que postularam entidades teóricas cuja existência hoje negamos (por exemplo, o flogisto ou o fluido calórico). Quer dizer, há teorias bem-sucedidas (sob diversos aspectos) que não fazem referência a objetos do mundo físico (PLASTINO, 1995).

Utilizando justamente a análise histórica, Feyerabend (1977) apresenta sua argumentação em relação a teorias “*incomensuráveis*”⁹, o que pode ser considerada como

⁷ Esse argumento “simplificadamente, consiste em alegar que se uma teoria prediz corretamente uma grande quantidade e variedade de fenômenos é improvável que seja falsa acerca do mundo sub-fenomenico de que suas predições empíricas dependem. Se as entidades não-observáveis postuladas pela teoria não existissem, e se o que a teoria diz sobre elas não fosse aproximadamente verdadeiro, somente uma coincidência de proporções cósmicas poderia explicar seu sucesso empírico.” (CHIBENI, 1996: 56).

⁸ “Entende-se por ‘êxito empírico da ciência’ as diversas maneiras de predição e controle tecnológico que nos proporcionam os mais variados sistemas de crenças científicas.” (BARRA, 1998: 20).

⁹ A expressão “incomensurável” também foi utilizada por Thomas Kuhn (2005) em relação a diferentes tradições científicas que utilizam diferentes paradigmas. Kuhn diz ainda que a realidade é sempre vista através dos óculos de um determinado paradigma, o que inviabilizaria um acesso direto ao mundo.

argumento contra o realismo e, conseqüentemente, uma possível defesa do instrumentalismo. Esboçamos anteriormente algo semelhante a esse argumento, quando falamos das teorias mudarem enquanto o mundo não muda. Mas de uma forma mais precisa, o argumento seria o seguinte: se as teorias tratam do real, se dão estatuto ontológico aos entes que tratam, diferentes teorias seriam incomensuráveis à medida que estabelecem princípios ontológicos conflitantes. E, mais ainda, não haveria nenhum conjunto de proposições observacionais teoricamente neutras que possa fazer decidir entre elas. E isso acabaria por mostrar que a verdade científica objetiva não é alcançável mesmo ao nível dos observáveis, quanto mais ao nível dos inobserváveis.

No entanto, em relação a isso, os realistas poderiam argumentar que para determinar qual dessas teorias é verdadeira poderia ser utilizada a evidência factual. Em resposta, Feyerabend diz que evidências empíricas são fisiológica e culturalmente “contaminadas”, não existindo assim fatos nus, fatos que não sejam vistos de uma determinada maneira. Em relação a isso, e falando sobre Feyerabend, Regner (1996) diz que “como é reconhecido por todas as análises contemporaneamente feitas, a evidência factual é teoricamente determinada”.

Segundo Barra (1998), essa idéia da inexistência de uma perspectiva extra-teórica para a avaliação de nossas crenças – de que não temos nenhum acesso à natureza que não envolva alguns elementos da prática científica – não condena a idéia da existência de algo independente de nós, ao qual temos acesso através de processos que são dependentes dos estados atuais da ciência e do senso comum. O ponto problemático, segundo ele, seria a passagem da dependência teórica das nossas representações do mundo para a dependência teórica do próprio mundo.

Em seguida a essa idéia, Barra ainda atribui como vantagem de uma concepção realista a possibilidade de fornecer uma explicação coerente para os sucessivos aperfeiçoamentos de nossos sistemas teóricos. Isto tendo como pressuposto que o mundo é independente de nós e se encontra presente na origem e no processo de desenvolvimento desses sistemas.

Para Dutra (1998), do ponto de vista epistemológico, a opção por uma posição realista ou anti-realista irá depender de qual dos aspectos levantados por essas correntes se considera mais relevante, pois ambas possuem fragilidades. “Se o que se julga importante é destacar o sucesso preditivo da Ciência, a corrente realista é a mais adequada, mas se o que se quer mostrar é a possibilidade de um mesmo evento ser explicado de modos diferentes, então os argumentos anti-realistas são mais adequados.” (PINHEIRO, 2003: 31).

Tanto o realismo científico quanto o anti-realismo pretendem atribuir um sentido à ciência empírica, compreendê-la dentro de uma concepção filosófica que permita construir uma interpretação global da mesma e analisar seu fundamento e finalidade (PLASTINO, 1995), mas nenhuma das duas teses está livre de problemas.

3 – DISCUSSÕES SOBRE REALIDADE NA SOCIOLOGIA

3.1 – Solução (pragmática) para o impasse

Pelo exposto nas páginas precedentes, percebemos que os problemas relacionados ao conhecimento científico não possuem solução trivial. As questões colocadas nos levam a um impasse em relação a esse tipo de conhecimento, pois a cada argumento filosófico temos um contra-argumento. E não temos aqui nenhuma pretensão em apontar uma resolução para essa questão.

Esse impasse, das dúvidas em relação ao conhecimento científico e em como ele se relaciona com o mundo, poderia levar um cientista a não mais realizar seu trabalho, uma vez que a atribuição de realidade aos entes e teorias científicas justifica o estudo e trabalho científicos. No entanto, como também apontamos anteriormente, este problema é bem mais profundo e está na raiz do próprio conhecimento.

Acredito que não seja exagero pensar que os cientistas, de um modo geral, tratam o conhecimento científico de forma pragmática, tal como colocado por Weinberg defendendo uma postura *realista*, cuja frase citamos anteriormente¹⁰. Assim, não haveria dúvida em relação aos entes e teorias científicas, a consideração da realidade desses seria, inclusive, ponto de partida para o trabalho em ciência.

No entanto, essa questão é mais ampla ainda. Isso porque, assim como os cientistas, os seres humanos em geral também possuem uma solução pragmática para o problema do conhecimento, que passa longe da compreensão filosófica do problema, mas que, nem por isso, deixa de resolver a questão para fins utilitários. E isso está na forma de entendimento da realidade, que as formas que abordamos até aqui, utilizando conhecimentos filosóficos, não encerram o entendimento da mesma. Por isso, faremos aqui uma discussão relativa a esse entendimento, numa perspectiva que é mais próxima das pessoas em geral.

3.2 – O aspecto social da realidade

Alguém poderia, perfeitamente, ao conversar com outra pessoa, se expressar da seguinte forma: “a realidade de quem acorda às 4h da manhã e pega três conduções para ir ao trabalho é bem dura”. E essa frase seria entendida pelo interlocutor, uma vez que é bem provável que ambos partilhem dos significados dos termos utilizados na frase, bem como

¹⁰ “[...] que dizer para um físico que as leis da natureza não são explicações dos fenômenos naturais ‘é como dizer para um tigre caçando sua presa que toda carne é grama’”. (apud LABURÚ e SILVA, 2000).

de sua significação mais ampla, que diz respeito ao dia-a-dia de alguém. No entanto, o termo “realidade” que aparece nessa frase não tem o mesmo significado de quando o utilizamos para nos referir a quarks, a campo gravitacional, à constância da velocidade da luz etc.

O que temos, então, é que considerar que existem diferentes “níveis” quando falamos em realidade. No exemplo colocado, da pessoa que enfrenta dificuldades para chegar ao trabalho, está sendo feita referência a um “nível” das relações do dia-a-dia. Já quando é falado sobre entes ou conceitos científicos, está sendo feita referência a um outro “nível”, diferente desse do cotidiano. Esse segundo “nível”, o científico, possui uma forma de conceber o mundo diferente da perspectiva tomada cotidianamente. E isso daria acesso a outros aspectos do mundo, diferentes daqueles da dia-a-dia.

Bachelard, ao discutir o conceito de *massa* em *A Filosofia do Não*¹¹, toca de certa forma nisso, dizendo que a conceituação de massa vai desde as formas mais próximas à apropriação imediata e pragmática, ligadas à vida comum, até aquelas que já não vêm mais dessa experiência direta, como aquela que veio com a mecânica newtoniana (da massa ser uma relação entre força e aceleração) bem como das abordagens posteriores, em que a noção de *massa* se tornou mais complexa.

E é nessa distinção entre a perspectiva científica e a cotidiana, na existência de ruptura entre ambas, que se apóiam, por exemplo, aquilo que chamamos “Concepções Alternativas” (SARAIVA, 1986), tão difundidas principalmente entre os não especialistas.

Como exemplo dessa perspectiva diferente, na concepção científica a matéria passa a ser vista como composta, principalmente, por espaço vazio; ou mesmo a Terra, normalmente vista como o chão em relação ao qual nos movimentamos, passa a ser considerada como ativa e em constante movimento (MARTINS et al, 1999). E, dessa forma, a própria “realidade” será vista numa outra perspectiva. À medida que tomamos campos diversos do conhecimento, o termo *realidade* passa a ter diferentes significações.

No entanto, o mundo cotidiano é geralmente tratado pelas pessoas como sendo “a” Realidade, concebida como única, imutável e permanente (PIETROCOLA, 2001). Além disso, é tratado como uma realidade natural (SCHUTZ, 1974). Ele é partilhado pelas pessoas de um mesmo grupo social e geralmente percebido de maneira pouco refletida, à maneira de um realismo ingênuo. Ao nos referirmos a objetos como cadeira, caneta, carro, árvore, computador, sabemos que seremos entendidos pelos nossos interlocutores, pois eles

¹¹ BACHELARD, G. **A filosofia do não**. In: Coleção Os Pensadores, São Paulo: Abril Cultural, 1978.

partilham conosco do significado dessas palavras, bem como sabem a que objetos se referem. E esses objetos possuem características específicas que fazem com que os reconheçamos. E mesmo quando algumas dessas características se modificam, essas modificações não são tão drásticas a ponto de se tornarem outras coisas (a menos que haja uma intenção deliberada em se fazer isso, como num processo de reciclagem, por exemplo). Assim, sabemos que esses objetos existem, os percebemos pelos sentidos, nos referimos a eles em nossas comunicações e os consideramos, em certo sentido, imutáveis. Os objetos existem independente da ação de um indivíduo específico, existem por si mesmos. E tudo isso faz com que sejam tomados como reais, eles fazem parte do terreno firme que pisamos no nosso dia-a-dia.

Mas tratar esse “nível” de realidade, o cotidiano, como “a” Realidade ocorre quando não nos damos conta que em nossa compreensão do mundo, e dos objetos presentes nele, há um componente construído, que nem mesmo esse “nível” de realidade é dado diretamente, independente dos seres humanos, mas sim que as coisas passam a fazer parte da realidade quando são interpretadas e conceituadas. Isso porque, se a realidade é composta por aquilo que existe, ela é dependente da consciência de que algo existe e este algo é definido pela linguagem do ser consciente. Como exemplo disso, Pinheiro (2003) cita os exemplos dos últimos planetas descobertos em nosso Sistema Solar, que antes de serem descobertos não “existiam” para as pessoas, pois elas não tinham consciência dos mesmos.

Outro exemplo de algo que só faz parte da realidade porque esta é interpretada e conceituada é o de um simples objeto como uma régua. Mesmo sendo um objeto concreto, que manipulamos e acessamos através de nossos sentidos, quando pensamos numa régua, podemos pensar num objeto específico, numa régua específica. No entanto, a régua, enquanto conceito, faz parte da realidade somente após ser interpretada e conceituada.

Esta palavra não designa um único objeto, mas sim uma classe de objetos. Ela pode representar objetos de madeira, de metal, de plástico, que podem ser grandes ou pequenos, retilíneos ou curvos, como os utilizados por costureiras e alfaiates. A relevância da noção de classe nesta discussão é que ela envolve a percepção de semelhanças, sejam elas de forma, de uso ou outras, entre as várias régua. Ou seja, existe uma idéia ou um conjunto de idéias por trás da palavra. Régua é um conceito. [...]

Todas as régua que conhecemos são objetos compostos por subsistemas, sejam eles moléculas, átomos ou mesmo pedaços maiores. Se quebrarmos uma régua

ao meio, cada pedaço ainda constitui uma régua? O que muda se quebrarmos cada metade novamente ao meio? Tudo isso mostra que existem abstrações importantes escondidas no substantivo régua. (ROBILOTTA, 2004)

Por tudo isso, percebemos que até os objetos mais corriqueiros, que manipulamos no dia-a-dia, possuem um componente de construção, que não é inerente a ele, e que o define dentro de um contexto específico.

Considerações sociológicas elaboradas por Berger e Luckman (2005) a respeito da realidade, declaram que ela é construída socialmente. Eles fazem uma análise de como a realidade cotidiana é acessível às pessoas. Nesse contexto, defendem que possíveis definições para a mesma e para a palavra conhecimento podem ser, respectivamente, “qualidade pertencente a fenômenos que reconhecemos terem um ser independente de nossa própria volição” e “certeza de que os fenômenos são reais e possuem características específicas”.

Essas definições possuem íntima relação entre si e arriscamos dizer que a maioria das pessoas as consideraria boas definições, mesmo não fazendo nenhuma referência a uma dimensão ontológica, pois é nesses termos que entendem seu mundo “real” e conhecem esse mundo com graus variados de certeza. Um filósofo poderia levantar questões relativas ao *status* último tanto dessa realidade quanto desse conhecimento, utilizando, por exemplo, os argumentos que apresentamos no capítulo anterior, mas conforme Berger e Luckman a sociologia não pretende tratar disso, e por isso que a definição utilizada tanto para realidade quanto para conhecimento não se referem mesmo a um caráter ontológico, ou mesmo a questões de validade do conhecimento.

Para esses autores há um interesse sociológico nesses termos – realidade e conhecimento – devido, entre outras coisas, ao fato de sua relatividade social. Como exemplo, podemos pensar que o que é “real” para um monge tibetano pode não ser “real” para um homem de negócios ocidental. E para o Conhecimento temos a mesma coisa. Esse exemplo reforça o que já foi dito, que esses termos são definidos de acordo com contextos sociais específicos.

As considerações que fizemos acima, das pessoas considerarem reais os objetos que lidam na vida cotidiana, se consolidam desde a infância, pois desde o início somos introduzidos num mundo pronto, numa sociedade em que já conceituou os objetos, que possui seus códigos e normas. E isso tudo é aprendido desde cedo, na interação com outras pessoas mais experientes.

Mas até dentro de um mesmo contexto social podemos ter diferentes formulações do que seja realidade. As formulações teóricas da mesma – quer sejam científicas, filosóficas, mitológicas etc – podem definir a realidade em diferentes termos. E não esgotam o que é “real” para os membros de uma sociedade. As próprias concepções de senso comum, as adquiridas na experiência cotidiana, representam, também, uma definição específica de realidade, interpretada pelos homens e subjetivamente dotada de sentido na medida em que forma um mundo coerente. “Em qualquer sociedade somente um grupo muito limitado de pessoas se empenha em produzir teorias [...], mas todos os homens na sociedade participam, de uma maneira ou de outra, do ‘conhecimento’ por ela possuído” (BERGER e LUCKMANN, 2005: 29). Ou seja, mesmo não sendo pessoas que teorizam, todos vivem em um mundo de algum tipo.

A coerência nos elementos presentes na vida cotidiana é um importante fator de definição de sua realidade. Caso não seja possível encontrar essa coerência em algum elemento, poderiam surgir dúvidas sobre o quanto ele seria real.

Pietrocola (2001), discutindo justamente isso, dá um exemplo interessante. Ele cita um possível sonho em que roubou alguém. Depois comenta que

A não-implicação criminal do meu ato foi assumida dentro de um contexto irreal, pois admiti que o sentimento que tive ao acordar, embora parecesse real, não era decorrente de ações num mundo real. Não havia necessidade de esperar conseqüências coerentes decorrentes daquele ato. Caso eu fosse acordado por um policial que me indagasse sobre fatos ocorridos na noite anterior, teria indícios de que talvez o que pensei ser um sonho tivesse algo de real. Talvez sofresse de sonambulismo e não soubesse, o que novamente recuperaria o sentido de realidade, isto é, coerência entre os fatos. (PIETROCOLA, 2001: 27)

Como já dissemos anteriormente, entre os possíveis “níveis” de realidades, o da vida cotidiana se apresenta, justamente, como “a Realidade” por excelência. Os fenômenos desse “nível” acham-se dispostas em padrões que parecem independentes da apreensão que temos deles. E são fenômenos que estão muito próximos, tanto no aqui como no agora, o que faz, muitas vezes, que sejam impossíveis de serem ignorados. Há também fenômenos não tão próximos espacial e temporalmente, o que faz com que a vida cotidiana seja experimentada em diferentes graus de aproximação e distância no espaço e no tempo. Algo que fiz ontem, ou sei que está em outra cidade, ainda são coisas reais para mim. Mas aos

acontecimentos do aqui e o agora tenho acesso direto, o que os torna “mais reais”, pois a existência deles se mostra evidente.

Esse mundo não somente é tomado como realidade certa pelos membros de uma sociedade, mas, mais que isso, se origina do pensamento e da ação deles. Ou seja, ele não é formado por construções teóricas altamente elaboradas, mas é criado e reafirmado dia-a-dia por todos. E a palavra “todos” entra com o sentido de que a realidade da vida cotidiana é intersubjetiva, tão real para mim quanto para os outros. Os meus significados e os significados dos outros se correspondem neste mundo que partilhamos no que diz respeito à realidade dele. E por ser partilhada, essa realidade cotidiana é mais facilmente admitida como “a” realidade. Ela está aí, evidente por si mesma e compulsória. Assim, podemos pensar que as concepções advindas daí são altamente “enraizadas”. E como já foi dito, essas concepções vão se formando desde a infância, quando estamos nos desenvolvendo em meio a um cotidiano já formado e estabelecido.¹²

Schutz (1974) afirma que, dentro do esquema de referência do cotidiano, não há interesse nem razão em se levantar dúvidas em relação aos objetos à medida que esse esquema de referência funciona. Não há razão em duvidar que nossas experiências nos oferecem um acesso às coisas como realmente são.

De acordo ainda com Schutz (1974: 216) a realidade cotidiana possui as seguintes características:

- as pessoas se mantêm nela com uma atitude alerta, que se origina de uma plena atenção à vida;
- há uma atitude específica de suspensão da dúvida em relação aos objetos à volta;
- há uma forma específica de experimentar o próprio “si mesmo”, como um si mesmo “executante”, que age no mundo;
- há uma forma específica de socialidade (um mundo intersubjetivo comum);
- há uma perspectiva temporal específica.

No entanto, como já foi dito anteriormente, esse “nível” da realidade cotidiana não é o único. E Berger e Luckman afirmam que as demais “realidades” são consideradas como campos finitos de significação dentro da realidade dominante, a cotidiana, com

¹² Sobre esse ponto, Berger e Luckman fazem uma discussão mais ampla em relação à formação do ser humano se dar em correlação com o ambiente, tanto natural como cultural e social. E, com isso, a tomada da realidade cotidiana como “a realidade”. Fazem também uma discussão em relação aos processos de tipificação, institucionalização e reificação, que fazem a realidade cotidiana ser tomada da forma que é. No entanto, consideramos que essa discussão não caberia aqui em nosso trabalho.

significados e modos de experiência delimitados. E depois de passar por eles, a consciência sempre volta à realidade dominante como se voltasse de uma excursão.

Esses campos caracterizam-se por desviar a consciência da realidade cotidiana. “Embora haja [...] deslocamentos de atenção *dentro* da vida cotidiana, o deslocamento para um campo finito de significação é muito mais radical” (BERGER e LUCKMANN, 2005: 43). Como exemplo disso, as experiências estéticas e religiosas são ricas em produzir transições dessa espécie. O sonho pode ser tomado como outro exemplo.

Fala-se na realidade cotidiana como dominante porque estamos inseridos nela de forma compulsória e não podemos nos desvencilhar dela durante nossa vida. E mesmo após nos “deslocarmos” para um outro “nível” de realidade, sempre acabaremos voltando ao cotidiano.

Cada um desses “níveis” ou campos possui características internas específicas. Não só no campo cotidiano que a coerência entre as partes é importante, mas em todos eles. As experiências dentro de cada campo devem ser coerentes e compatíveis umas com as outras, mesmo sendo incompatíveis com as da vida cotidiana ou com outro campo qualquer. E essa coerência é um fator que define um determinado campo específico. E não há uma forma de “transformação” dos termos de um campo em outro, e por isso que os deslocamentos entre eles geram uma alteração na consciência. E só pra citar um exemplo de uma alteração possível, enquanto na vida cotidiana há uma atitude específica de suspensão da dúvida em relação aos objetos com os quais lidamos no dia-a-dia, em outro campo essa suspensão pode não existir e esses serem colocados à dúvida ou, então, tratados de forma diferente daquela do dia-a-dia, não mais como realidade dada.

A ciência pode ser considerada, também, como pertencente a um campo de realidade diferente do cotidiano. Suas teorizações não têm os fins práticos das questões da vida cotidiana, mas, falando de uma forma grosseira, são ações planejadas, com o propósito de se obter uma solução para um determinado problema, com o sentido de compreender parte do mundo. A intenção ou mesmo a motivação do cientista pode ser a de resolver problemas práticos, do dia-a-dia, mas essas intenções ou motivações não fazem com que a forma de se resolver esses problemas seja a mesma do cotidiano. E nem que as soluções buscadas se refiram a questões de ordem pessoal ou privada, como as que buscamos muitas vezes no dia-a-dia, mas possuem um caráter mais amplo. Há, inclusive, uma suspensão da subjetividade do cientista, de suas características pessoais específicas; diferente do cotidiano, na solução de problemas científicos não interessa se o cientista é tímido, se é alto, se é casado ou mesmo se é rico; ou mesmo se quer ser rico ou se quer se

casar. Esse tipo de coisa não entra na compreensão teórica científica, mas fazem diferença nas ações do dia-a-dia.

Claro que as características pessoais de alguém são determinantes, por exemplo, na escolha da área de atuação científica dele, ou mesmo na escolha das questões que estuda. No entanto, após essas escolhas, entra num universo que abarca os resultados obtidos por outros cientistas, com problemas enunciados por outros, soluções sugeridas por outros e métodos elaborados também por outros (SCHUTZ, 1974). Ou seja, adentra um campo finito, com seu estilo peculiar, e os problemas que surgem no âmbito científico devem participar do estilo universal desse campo e ser compatível com outros problemas tratados nele. A liberdade individual fica bastante reduzida.

Assim, a ciência restringe nossa abordagem sobre o mundo na medida em que tenta eliminar tudo aquilo que for puramente pessoal, ou que se limite a determinado ponto de vista. Elimina também a maior parte da aparência sensual e estética da natureza. Por exemplo, “poentes e cascatas são descritos em termos de frequências de raios luminosos, coeficientes de refração e forças gravitacionais ou hidrodinâmicas. Evidentemente, essa descrição, por mais elucidativa que seja, não é uma explicação completa daquilo que realmente experienciamos.” (KNELLER, 1980: 149). No esforço de ser objetiva, a ciência busca excluir as referências a experiências subjetivas, sejam individuais ou coletivas.

Mas a ciência não é somente restritiva. Por outro lado, ela também amplia o conhecimento, transcendendo a experiência imediata. Através dessa última não podemos entender ou controlar a natureza de forma “adequada” e a ciência fornece explicações a fenômenos que de outra forma pouco ou nada conheceríamos.

Assim, apesar da ciência restringir certos aspectos do mundo, ela amplia outros, fornecendo um conhecimento com maior profundidade naquilo que encontra em seu âmbito de atuação.

Por essas características específicas, e outras mais, apesar de a ciência buscar uma visão única, coerente, que abarque uma compreensão completa de como as coisas são, essa busca não impede que seja mais um campo finito de significação.

Diante do exposto, percebemos que nossa visão de mundo não é única. Existem campos finitos, ilhas de coerência e esses nem sempre possuem coerência entre si. Isso tudo gera um problema, o da interpretação da coexistência dessas realidades entre si e mesmo com a realidade cotidiana. E esse problema pode ser considerado mais de natureza ontológica. A questão que permanece é: como pode ser possível a existência de “múltiplas realidades”?

O conhecimento científico é uma construção social, como as outras formas de construção de conhecimentos, mas uma forma aperfeiçoada ao longo dos últimos séculos, que gera uma forma coerente de conceber parte do mundo. E isso revela uma realidade diferente daquela do cotidiano, resultado de um processo de interpretação do mundo baseado em técnicas e métodos diferentes daqueles empregados no dia-a-dia. Nessa discussão sociológica não se trata, pois, quando se fala em *realidade*, de tratar sobre a realidade em si, como dimensão ontológica do mundo, mas sobre as atribuições possíveis de serem feitas sobre essa realidade (PIETROCOLA, 2001).

Assim, fica mais claro o que foi dito anteriormente, que as coisas passam a existir, passam a fazer parte da realidade, quando são interpretadas e conceituadas. Isso não significa que um fenômeno não aconteça, que seja somente fruto de interpretação, mas sim que é possível se ter diferentes “níveis” de acesso a um mesmo fenômeno ou a uma entidade.

No caso da ciência, alguns dos fenômenos tratados por ela também estão presentes no cotidiano e esses dois campos estão relacionados. Fenômenos naturais, presentes no dia-a-dia, como, por exemplo, raios durante uma tempestade, a própria tempestade, o Sol, as estrelas, as ondas do mar, são objetos de conhecimento da ciência. No entanto, como já foi dito, esses mesmos fenômenos podem se inserir em “diferentes realidades” ou, ainda, com outras formas de interpretação da realidade.

Duarte Júnior (1988) utiliza a água de um rio como exemplo para discorrer sobre essas “múltiplas realidades”. Dependendo da situação, a água pode ser algo para se matar a sede, para se refrescar, um meio para se apagar um incêndio. Mas nessas situações dificilmente alguém irá pensar como um químico que diria que a água nada mais é que H_2O , ou seja, uma substância composta por moléculas com dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio. E antes da química afirmar que a composição da molécula da água é essa, um número imenso de seres humanos já havia se relacionado com a água, das mais diversas maneiras, atuado sobre sua “realidade”, sem que a água fosse H_2O e, nem por isso, ter menos realidade. Nessa mesma linha, Pietrocola (2001) utiliza o exemplo de árvores, que possuem diferentes significados para quem as observa durante o caminho para o trabalho, por exemplo, e para um botânico.

Disso tudo temos que a ciência gera uma forma diferenciada de conceber o mundo, num certo “nível” de realidade. E esse nível não é o mesmo da realidade concebida no senso comum.

4 – O LABORATÓRIO DIDÁTICO

4.1 – Teoria e laboratório

Como falamos na Introdução, o presente trabalho está relacionado com laboratório didático, buscando interpretar algumas das dificuldades pelos quais os estudantes passam ao trabalharem nele. Assim, dentro daquilo que cabe a esse trabalho, vamos falar um pouco do laboratório.

Os cursos de Física possuem basicamente dois momentos distintos: as aulas teóricas e as aulas de laboratório. Nas primeiras os estudantes, na maioria das vezes, permanecem sentados, atentos ao discurso do professor, que lhes transmite as teorias e exercícios numéricos. De um modo geral, nessas aulas os conteúdos são tratados formalmente, com atividades de resolução de exercícios padrões, bem como memorização de conceitos e definições, todos internos à estrutura das teorias científicas, sem grandes preocupações em relacionar esses conteúdos com situações do mundo.

Por outro lado, o aspecto empírico, de relação com o mundo, ficaria a cargo do laboratório didático, onde os estudantes realizam experimentos. Aqui, aparentemente, os estudantes assumem uma postura menos passiva, pois realizam atividades e não apenas ouvem o que é dito pelo professor. Digo aparentemente porque a atividade motora de manipular instrumentos não é garantia que não haja passividade mental.

No entanto, fica a questão: porque o curso possui esses dois momentos, um de disciplinas teóricas e outro de experimentais, e eles não estão, necessariamente, vinculados um ao outro?

É inegável que esses dois momentos possuem características próprias, ambas com suas contribuições à formação do estudante. No entanto, a existência desses dois momentos é algo que chama a atenção.

Consideramos que as razões dessa divisão não estariam nas próprias questões internas a um curso de Física, mas sim numa dimensão anterior, a epistemológica. A relação entre os conhecimentos científicos com o mundo é complexa e a conexão entre as teorias e o mundo não é algo simples ou trivial.

No entanto, dentro de um laboratório didático, de alguma forma essa conexão precisa ser feita. E consideramos que esse é um ponto complexo na aprendizagem em Física e fonte de muitas dificuldades na compreensão do que é a Física e como ela dá conta de uma realidade.

4.2 – As medidas e o laboratório didático

Ao entrar num laboratório de Física, nos deparamos com vários tipos de aparelhos. Uns de origem e tecnologia mais recente, como contadores digitais por exemplo, outros bem mais antigos e de tecnologia também mais antiga como, por exemplo, um diapasão. Assim, desses aparelhos, alguns são razoavelmente simples, cujos princípios de construção são mais acessíveis, e outros mais complicados, utilizando tecnologia mais sofisticada.

Dentre os aparelhos que podemos encontrar num laboratório, Catelli (1999: 22) listou os seguintes: “Contador Geiger, alidade, paquímetro, palmer, sextante, balança, odômetro, micrômetro, interferômetro, estereômetro, altímetro, goniômetro, taquímetro, anemômetro, cronômetro, audiômetro, alcoômetro, higrômetro, aerômetro, densímetro, viscosímetro, termômetro, eletrômetro, sonômetro, gravímetro, manômetro...”. Catelli ainda destaca que dentre esses instrumentos, apesar das diferenças entre eles, um grande número é designado por termos carregando o mesmo sufixo “metro”. Esse sufixo, que diz respeito a medida, evidencia o papel preponderante dessa última no laboratório.

A utilização de experimentação e de medidas faz parte da construção de conhecimentos sobre o mundo feita pelas ciências naturais. Assim, poderíamos dizer que as medidas são importantes não só dentro de um laboratório de Física, mas para a Física como um todo.

O aprendizado desse caráter experimental da Física faz parte da formação nela. E o laboratório didático, como local onde os estudantes aprendem a trabalhar com experimentos e medidas, é considerado, por esse e outros motivos, peça chave no aprendizado dessa ciência. Medeiros e Mello (1996: 645) inclusive afirmam que:

Quando tomamos como referência a literatura especializada, ou mesmo o discurso dos professores, não só a nível de 3º grau, podemos facilmente inferir que a utilização do laboratório didático é considerada, já há bastante tempo, um paradigma no ensino de Física.

Nessa mesma linha, Schmidt (1996) coloca, numa pesquisa em que entrevistou professores de ensino médio e universitário, que esses são unânimes em afirmar que o laboratório é importante e fundamental no ensino de Física.

Num laboratório didático pode se aprender diversas coisas sobre medida e experimentação. Dentre elas, por exemplo, o fato de que quando se mede uma determinada grandeza, não se faz uma única medida, e sim várias; a quantidade delas dependerá das necessidades e possibilidades, mesmo que essas não estejam explicitadas. A necessidade

dessas várias medidas ocorre porque o que se observa, quando se mede algo mais de uma vez, é que geralmente em cada medição, mesmo com todo o cuidado de se reproduzir as mesmas condições da medição anterior, o resultado dá ligeiramente diferente da última. Esse fato – que para os físicos significa dizer que os resultados das medidas flutuam – mostra que não podemos obter um valor completamente exato de uma grandeza. E devido a isso, junto a uma medida temos que ter uma estimativa de quão boa ela é, precisamos conhecer sua incerteza, ou seja, uma faixa de valores onde, possivelmente, estará o valor “correto” da grandeza medida; ainda mais, há a necessidade de informar o nível de confiança desse intervalo definido pelo valor da incerteza (HELENE et al, 1991).

Outra questão importante, referente ao aprendizado em Física num laboratório, relaciona-se ao tratamento dos dados obtidos em medidas, geralmente analisados com conceitos estatísticos onde são definidos parâmetros que dão significado às medidas e aos processos de medição. E o tratamento dos dados num laboratório de Física de um curso de graduação exige uma razoável dose de matemática. Esse ponto, certamente, é causa de certas dificuldades dos alunos no trabalho com atividades experimentais.

No entanto, as dificuldades dos estudantes com a matemática envolvida no tratamento estatístico dos dados no laboratório não é, necessariamente, a única; muitos problemas permanecem nos cursos de laboratório. E os estudos dos diversos aspectos relacionados à experimentação ainda se mostram importantes, uma vez que algumas das dificuldades dos estudantes no laboratório didático, bem como os efeitos dessa atividade, permanecem ainda pouco conhecidas. Segundo Villani e Carvalho (1993: 75):

Apesar de estarem convencidos da importância das atividades experimentais, os docentes que as utilizam abundantemente em sua prática didática têm consciência de que a experimentação está longe de constituir a panacéia para o ensino de física; a aprendizagem dos estudantes parece sujeita a limitações e ambigüidades, que tornam o problema digno de ser analisado mais cuidadosamente.

Consideramos que existem outras dificuldades dos estudantes que nos parecem mais fundamentais que as encontradas com o domínio da estatística, dificuldades que surgem devido à especificidade dessas atividades.

Sobre essa especificidade do laboratório, que o diferencia das aulas teóricas, pode-se dizer, entre outras coisas, que o acesso aos fenômenos e aos conceitos envolvidos se concretiza nas medidas das características físicas relevantes e de grandezas significativas já

definidas por teorias e modelos bem estabelecidos pela ciência. Além disso, no laboratório os estudantes podem ter a oportunidade de interagir mais intensamente entre si e com o professor, discutir diferentes pontos de vista, propor estratégias de ação, manipular instrumentos, formular hipóteses, prever resultados, confrontar previsões com resultados experimentais etc, e ora uns ora outros desses aspectos podem ser valorizados nas atividades.

Por tudo isso, podemos considerar que o laboratório pode desempenhar diversos papéis dentro do ensino de ciências. Tanto que há até trabalhos, como o de Araújo e Abib (2003), que fazem um levantamento na literatura da produção na área de investigações sobre a utilização da experimentação como estratégia de ensino da Física, ressaltando os diferentes enfoques e as diferentes finalidades dadas às atividades experimentais. Segundo esses autores, nos artigos pesquisados, independente da linha ou modalidade adotada, há unanimidade na defesa do uso das atividades experimentais e destacam dois aspectos pelos quais os autores dos artigos acreditam na eficiência da utilização dessas atividades:

- capacidade de estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade e interesse, favorecendo um efetivo envolvimento com sua aprendizagem;
- tendência em propiciar a construção de um ambiente motivador, agradável, estimulante e rico em situações novas e desafiadoras que, quando bem empregadas, aumentam a probabilidade de que sejam elaborados conhecimentos e sejam desenvolvidas habilidades, atitudes e competências relacionadas ao fazer e entender a Ciência.

Apesar de existirem atualmente, recomendações em relação à utilização de atividades experimentais não é um fenômeno recente; há mais de cem anos já se recomendava a utilização do laboratório no ensino de Ciências. Por exemplo, “em 1886 a Universidade de Harvard publicou uma lista de experimentos que deveriam ser incluídos em aulas de Física” (BLOSSER, 1988: 74).

Os estudos sobre o laboratório didático também já são feitos há certo tempo. E eles vieram, ao longo dos últimos anos, apontando diversas questões relacionadas às atividades experimentais, alguns fazendo, inclusive, críticas ao laboratório tradicional, ou seja, aquele em que o aluno realiza atividades práticas, geralmente excessivamente direcionadas, envolvendo observações e medidas acerca de fenômenos previamente determinados pelo professor. Essas críticas foram sintetizadas por Borges (2002) nos seguintes pontos:

- essas atividades não são efetivamente relacionadas aos conceitos físicos;
- muitas delas não são relevantes do ponto de vista dos estudantes, uma vez que tanto o problema como o procedimento para resolvê-lo estão previamente determinados;

- as operações de montagem dos equipamentos, as atividades de coleta de dados e os cálculos para se obter respostas esperadas consomem muito ou todo o tempo disponível.

Devido a isso, Borges argumenta que os estudantes dedicam pouco tempo à análise e interpretação dos resultados e do próprio significado da atividade realizada. Que, em geral, os estudantes percebem essas atividades como eventos isolados onde o objetivo seria chegar a uma “resposta certa”.

Apesar de todas essas diferentes características presentes no laboratório, a que nos interessa mais de perto nesse nosso trabalho é que o acesso aos fenômenos e aos conceitos envolvidos se concretiza através de medidas. Isso porque, no laboratório, diferente das aulas teóricas de Física, está presente uma dimensão empírica ou, como definem Séré et al (2003), “referencial empírico”, que é aquilo que é real, organizado especificamente para a experimentação, de forma a permitir o estudo dos fenômenos.

No laboratório se trabalha, de alguma forma, uma relação entre conteúdos teóricos e essa dimensão empírica. Essa relação, ou melhor, a adequação entre essas dimensões, segundo Cudmani e Sandoval (1991), se dá, entre outras coisas, através da análise dos erros experimentais, que permite, inclusive, quantificar essa adequação. Para essas autoras, “os hiatos entre os fatos e as conceituações científicas reconhecem na análise dos erros experimentais um critério importante de verdade factual, um critério que permite quantificar a adequação à realidade dos conceitos, modelos e hipóteses científicas”. (CUDMANI e SANDOVAL, 1991: 201).

Em relação ao termo “realidade” que aparece acima, consideramos que, no contexto da frase, tem o mesmo sentido dessa dimensão empírica; nesse nosso trabalho, utilizamos o termo “realidade” em outro sentido, como apresentado em capítulo anterior.

Ainda sobre esse ponto da adequação entre conteúdos teóricos e o referencial empírico, Medeiros e Melo (1996: 645) colocam a mesma idéia em outras palavras,

[...] que existem, no laboratório didático, dois referenciais distintos: um teórico, que descreve o fenômeno em estudo a nível da idealização o outro empírico representado pelas medidas efetuadas. O que nos cabe é então julgar a compatibilidade entre esses referenciais. Mas para fazer esse julgamento, isto é, avaliar a adequação entre referenciais, é necessário ter critérios. Dentro da metodologia da Física Experimental estes critérios estão fundamentados na teoria de erros [...].

Sobre essa questão colocada nas citações acima, há mais elementos além desse apontado que poderiam ser considerados como relevantes nessa questão da adequação entre esses referenciais empírico e teórico, a adequação não se restringe somente à teoria de erros. Mesmo porque, essa adequação está relacionada a um dado modelo, dentro do marco de uma dada teoria, com o referente empírico. Mas, mesmo assim, consideramos que o papel da análise dos erros experimentais enquanto elemento de adequação é um ponto relevante.

5 – DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Considerando que a ciência gera uma forma diferenciada de conceber o mundo, diferente daquela do dia-a-dia, tal como apresentamos no capítulo 3, pensamos que é essencial para o aprendizado de ciências uma preocupação pedagógica com estratégias e condições capazes de promover uma mudança de critérios na forma de conceber fenômenos ou entidades. Assim, com essa mudança de critérios, passar-se-ia a acessar e interpretar os fenômenos a partir de uma outra perspectiva, o que exigiria definir e conceituar um outro campo de realidade.

Podemos considerar, num contexto específico de um laboratório didático, que os dados de uma experiência não são, necessariamente, compreendidos de forma inequívoca pelos estudantes e que as representações individuais da realidade se apresentam na leitura que fazem dos objetos e fenômenos observados. Isso é tratado em parte por Barolli:

Embora tenhamos observado que nem sempre os experimentos foram compreendidos pelos estudantes com o mesmo significado apresentado pelos professores ou pelo guia de laboratório, nos parece que todos os grupos caminharam, durante a tomada de dados, no sentido de realizar as medidas que estavam sendo solicitadas e de representá-los, senão de acordo com o conhecimento formal, com suas próprias representações. (BAROLLI, 1998: 69)

No nosso trabalho pretendemos nos aprofundar na questão dos campos de realidade, ou seja, no fato de que o campo definido pela ciência, ou as formas de interpretação do mundo utilizadas por essa, não é de domínio dos estudantes, levando a interpretações diversas daquelas que seriam consideradas “científicas”.

Devido ao “nível” cotidiano estar firmemente enraizado nos estudantes, como nas demais pessoas que partilham do mesmo convívio social, consideramos que as formas de acesso ao mundo e de definição de realidade nesse contexto sejam dominantes em certo sentido. Assim, entendemos que a atitude de estender essas concepções advindas do cotidiano, adquiridas socialmente, para a esfera das atividades formais pode ser causa das dificuldades mais comuns enfrentadas pelos estudantes, inclusive (ou principalmente) em atividades num laboratório didático.

Como já apontamos no capítulo anterior, Cudmani e Sandoval (1991) e Medeiros e Melo (1996) se referiram ao fato de que no laboratório didático existem dois referenciais

distintos, um teórico e um empírico. Nos termos deste nosso trabalho, o teórico está inserido no contexto da ciência, na forma dela conceber o mundo; já o empírico é representado pelo contato com os fenômenos no laboratório. E entre outras coisas, a compatibilidade desses dois referenciais é definida utilizando como critério a teoria de erros. Dessa forma, nossa hipótese de trabalho é que as dificuldades dos estudantes com a teoria de erros, nesse campo de adequação entre o empírico e o teórico, bem como com as medidas e os conceitos relacionados a ela, estejam relacionadas à transposição das formas de interpretar o mundo cotidianamente para as atividades no laboratório didático.

Os estudantes “acessam” o mundo utilizando as formas do dia-a-dia e no laboratório é necessário acessá-lo de uma forma científica, ou seja, através das medidas e todo o arcabouço conceitual junto dela. No entanto, utilizando as formas de acesso e interpretação do cotidiano, a teoria de erros, ou a análise dos erros experimentais, fica totalmente sem sentido, como fica sem sentido, também, muitos dos conceitos relacionados às medidas.

5.1 – Os dados e o referencial metodológico

A pesquisa que apresentamos é baseada em informações obtidas de material escrito por estudantes em atividades num laboratório didático. No ano de 2001 foram acompanhadas duas turmas, uma em cada semestre, da disciplina Laboratório de Mecânica, disciplina essa que faz parte da grade curricular do curso de Licenciatura em Física da Universidade de São Paulo. Esta disciplina que acompanhamos é cursada por estudantes que estão no 4º ou 5º semestre do curso de Licenciatura. Antes dela, os estudantes freqüentaram, no 1º semestre do curso, a disciplina Introdução às Medidas em Física, que trata, basicamente, de experimentos simples cuja preocupação é com as medidas em si e com noções de tratamento de dados experimentais. Nos semestres posteriores ainda são cursadas as disciplinas Laboratório de Eletromagnetismo e Laboratório de Física Moderna.

No primeiro semestre acompanhado, a disciplina Laboratório de Mecânica foi oferecida no período noturno e no segundo semestre no período diurno. A coleta de dados se deu durante todo esse período, enquanto estive na condição de monitor da disciplina. Nos dois semestres, um total de 77 alunos fez a entrega de algum relatório da disciplina, 37 no período noturno e 40 no diurno. Isso não significa que todos a cursaram até o fim, pois houve alguns casos de desistência. Não temos o número exato de alunos que freqüentaram a disciplina até o final.

Em relação aos experimentos realizados, no Item 5.3, onde são apresentadas as frases dos estudantes, se encontra uma descrição sucinta deles.

Todas as experiências programadas foram realizadas em equipe, que podiam ser diferentes a cada aula. No início das aulas o professor fazia uma exposição de alguns conceitos que seriam necessários, às vezes acompanhados de exercícios, e também dava instruções sobre a experiência que seria realizada. Só então as equipes se reuniam e iniciavam o trabalho.

No decorrer da disciplina foram utilizados aparelhos de medição como réguas, trenas, paquímetros e micrômetros, faiscadores (que permitem o registro da posição de um corpo em instantes determinados), sensores de posição acoplados a microcomputadores (que permitem registrar em determinados intervalos de tempo duas posições conhecidas), além de equipamentos como trilhos de ar (que permitem simular situações de movimento sem atrito).

No período em que fui monitor, todo o material dos estudantes passava por mim para a correção e atribuição de nota. Nessa atuação, minha tarefa era buscar os acertos e apontar os erros. Encerrado esse período, iniciou-se mais sistematicamente uma primeira análise, onde voltei a olhar o material, não mais procurando identificar somente aquilo que é certo ou errado segundo os conceitos da Física, mas procurando, além disso, algum indício daquilo que pudesse ser tomado como concepções desses alunos sobre o conceito de medida física. No decorrer dessa análise outras questões também relevantes se colocaram, como, por exemplo, a forma dos alunos enxergarem as teorias científicas, representando também a visão deles da capacidade de apreensão da realidade por elas.

Essa análise citada se deu entre os anos de 2001 e 2003 na forma de uma iniciação científica. Nesse trabalho, como uma primeira abordagem, nos fixamos na verificação da cada exercício ou atividade separadamente, na perspectiva de, posteriormente, observando as características específicas desses, poder ter indícios de alguma causa dos “erros” cometidos pelos estudantes nos próprios exercícios ou atividades. No entanto, com o decorrer da pesquisa, verificamos que os erros e dificuldades eram recorrentes o que nos indicou que uma abordagem mais adequada seria ver essas dificuldades como um todo e nos fixamos, de forma mais geral, nas representações dos estudantes relacionadas às medidas e aos conceitos envolvidos. Alguns resultados foram publicados em Marineli et al (2003).

Essa perspectiva de verificar as dificuldades de uma forma mais geral, não nos fixando diretamente nas especificidades das diferentes atividades, foi mantida neste nosso

presente trabalho. Aqui nos baseamos nos mesmos materiais do anterior, e, além disso, utilizamos a mesma metodologia de análise qualitativa. O procedimento adotado foi voltar a ler o material escrito pelos estudantes, buscando encontrar regularidades tentando identificar neles certas tendências ou padrões, pois analisar dados qualitativos implica, entre outras coisas, justamente, identificar tendências e padrões relevantes. Ludke e André (1986) foram as autoras em que nos baseamos para a análise qualitativa realizada.

A perspectiva colocada agora, fundamentada principalmente nas idéias apresentadas no capítulo 3, foi a que norteou toda a busca de informações e deu pertinência àquelas que foram selecionadas.

Essa nossa análise buscou organizar os dados através de categorias e a partir delas obter uma possível articulação e interpretação, não observadas de forma imediata, com estrutura e natureza do que se considera uma forma de conceber a realidade e as formas de acesso a ela. É importante deixar claro que a análise realizada não tem o objetivo de evidenciar uma evolução das concepções dos estudantes ao longo do curso, mas o de olhá-las como um todo, consideradas num momento, dando-lhes sentido através do referencial escolhido.

Os dados para a análise efetuada constituíram-se de frases selecionadas dos textos dos alunos, tendo como critério inicial seu conteúdo errôneo ou inadequado quando comparado com a concepção aceita cientificamente. Posteriormente esse critério foi estendido através dos indícios que nos interessavam; neste ponto nos apoiamos em Bogdan e Biklen (1999: 149) quando afirmam que “os dados incluem os elementos necessários para pensar de forma adequada e profunda acerca dos aspectos da vida que pretendemos explorar”.

Consideramos como unidade de análise frases onde se expressava de forma completa uma idéia acerca do conteúdo que investigamos, isto é, uma característica de uma concepção relacionada ao conceito de medida ou relacionada aos dados obtidos experimentalmente.

Das frases selecionadas entre os registros dos estudantes foram extraídas informações que foram interpretadas como modos de operar com os conceitos e suas formalizações (PACCA e VILLANI, 1990), bem como quanto à compreensão que os sujeitos têm desses conteúdos. Os dados foram então organizados de acordo com o significado que pudemos atribuir-lhes, certamente sugeridos pelas formas de concepção de realidade. Nesta organização foram geradas categorias implícitas que têm a função de pontes para a interpretação proposta.

Podemos considerar que a primeira categorização desses dados, realizada durante o período de iniciação científica (MARINELI et al, 2003), possuía características mais abertas, numa tentativa de adquirir uma visão mais ampla da situação.

Na maior parte dos estudos qualitativos, o processo de coleta se assemelha a um funil. A fase inicial é mais aberta, para que o pesquisador possa adquirir uma visão bem ampla da situação, dos sujeitos, do contexto e das principais questões do estudo. Na fase imediatamente subsequente, no entanto, passa a haver um esforço de “focalização progressiva” do estudo, isto é, uma tentativa de delimitação da problemática focalizada, tornando a coleta de dados mais concentrada e mais produtiva. (LUDKE e ANDRÉ, 1986: 46).

No presente trabalho, categorias mais específicas foram elaboradas, numa tentativa de uma melhor compreensão das concepções dos alunos, mais focalizadas no objeto a ser estudado: focalizamos nossa atenção nas expressões deles, procuramos evidências de que o elemento essencial que se acoplava à representação formal errada das medidas era a idéia de realidade.

Deu-se mais ênfase às hipóteses explicativas ocorrendo uma delimitação dos aspectos e características dos dados que foram consideradas mais relevantes para o caso. Nesse momento, a análise não se restringiu ao que estava explícito no material, mas foi mais fundo, numa tentativa de mensagens implícitas, sugeridas por outras articulações dentro das próprias expressões dos alunos.

A categorização, por si mesma, não esgota a análise. É preciso que o pesquisador vá além, ultrapasse a mera descrição [...]. Para isso ele terá que fazer um esforço de abstração, ultrapassando os dados, tentando estabelecer conexões e relações que possibilitem a proposição de novas explicações e interpretações. (LUDKE e ANDRÉ, 1986: 49).

Assim, foi construído um quadro de categorias e suas articulações para organizar os dados. E a interpretação dessas categorias teve como referência a teoria sociológica adotada (BERGER e LUCKMAN, 2005).

5.2 – Categorias de análise

A seguir são apresentadas as categorias que desenvolvemos para a análise do material utilizado em nossa pesquisa. Elas foram construídas a partir de uma imersão no

conteúdo do próprio material escrito pelos estudantes e, para avançar na direção de uma interpretação adequada à natureza das informações que desejamos, nos apoiamos em outras referências que possuem proximidade com a questão pesquisada. Séré et al (1993) concluíram das suas pesquisas dentro de um laboratório didático que os estudantes têm dificuldades bastante evidentes, tais como: não entendem a necessidade de fazer várias medidas e de calcular as incertezas; não distinguem erros sistemáticos de aleatórios; não compreendem e não conseguem explicar porque o resultado de muitas medidas pode ser melhor, mesmo concordando que deve ser. Dificuldades semelhantes foram encontradas por nós, além de outras que procuramos também evidenciar. Reunindo todas essas informações, encontramos uma base para a construção das categorias a seguir.

A) Flutuação de medidas físicas

Esta categoria trata da dificuldade dos alunos em conceber que os resultados das medidas flutuam, que as flutuações nos resultados das medidas são inerentes ao processo experimental, ou mesmo o entendimento de que é possível conhecer essas flutuações através de uma única medida de uma grandeza.

B) Incerteza na representação de medidas físicas

Trata da dificuldade em compreender o conceito de incerteza, bem como a necessidade de representação e informação de uma incerteza para qualquer medida efetuada. Como a flutuação é inerente a qualquer conjunto de medidas, a incerteza é o conceito que permite tratar objetivamente este caráter de uma medida física. Foram agrupados nesta categoria os casos onde isso apareceu mais explicitamente, e os casos onde não era considerada a inerência da incerteza à medida. Aqui foram agrupados, também, os casos onde se interpretavam e avaliavam resultados experimentais sem levar em conta as incertezas das medidas.

C) Influência do observador (ou medidor) nas medidas físicas

Trata da concepção de que quanto mais intervenção do experimentador houver, pior será o resultado obtido. Também dos casos em que as “falhas humanas” são atribuídas à imprecisão das medidas, ou seja, essas são relacionadas à “capacidade” ou “qualidade” dos medidores.

D) A Teoria e a relação com as medidas físicas

Trata da utilização da teoria para validar os resultados experimentais, ou seja, considerar como resultados certos, somente aqueles que estão de acordo com o modelo teórico, sem nenhum desvio. Não é concebível que um resultado calculado a partir de uma fórmula matemática possa ser incerto.

E) Idéias cotidianas sobre grandezas físicas ou objetos

Trata de caracterização de objetos ou grandezas tal como é feita no cotidiano. No trabalho experimental em Física são utilizados modelos, que não são um retrato exato do mundo, mas uma simplificação de alguns aspectos desse. E ao se tratar com modelos, não é possível utilizar os mesmos critérios com que se trata os objetos do dia-a-dia; estes em geral foram construídos e definidos fora do âmbito da ciência e carregam a conceituação do senso comum.

F) Interpretação do senso comum para os desvios

Esta categoria abrange as justificativas dadas pelos estudantes quando um resultado obtido não é o esperado. As causas principais podem ser agrupadas em cinco dimensões diferentes:

F1) Problemas no procedimento, no método ou no equipamento, ou seja, as formas que se utiliza para acessar o fenômeno ou objeto.

F2) Problemas na leitura do aparelho ou na influência de quem faz a medida.

F3) Problemas na previsão teórica ou mesmo no modelo adotado.

F4) Influências e fatores não previstos (sem fazer referência a modelo) quando erram algum cálculo.

F5) Afirmam que resultados concordam com o esperado ou que “deu certo” mesmo que os dados mostrem o contrário.

Com esse quadro de categorias passamos a identificar, no material escrito, as expressões dos estudantes que constituem os dados da pesquisa.

5.3 – O material escrito: frases de relatórios de diferentes experimentos

A seguir serão apresentadas frases dos estudantes retiradas do material escrito por eles. Abaixo das frases se encontra uma identificação dos alunos através de três letras e antes delas é feita uma breve explanação sobre o experimento de onde foram retiradas. O roteiro completo dos experimentos se encontra no Anexo 1. É feito ainda um breve comentário explicitando o que entendemos como conteúdo implícito.

Relatório 1 – Teste do Bêbado

Descrição do experimento

Nesse experimento, feito em duplas, era medido o tempo de reação de uma pessoa. Para isso, um dos alunos da dupla segurava uma régua na vertical pela sua extremidade, colocando o início da escala entre os dedos indicador e polegar, quase fechados, do outro aluno, que devia tomar o cuidado de não encostar na régua. Após isso, sem avisar nem dar qualquer sinal, a régua era solta e o aluno em teste deveria pegá-la. Media-se a distância percorrida pela régua entre o soltar e o pegar e então se convertia essa distância em tempo de queda, que seria o tempo de reação da pessoa em teste.

De posse desses dados, era pedido para os alunos calcularem a média, o desvio padrão e o desvio padrão da média dos valores obtidos.

No caso do tempo, era sugerida uma outra forma de se calcular o desvio padrão e esse resultado deveria ser comparado com o do cálculo “tradicional”.

“Temos o desvio padrão calculado como 2 e o ‘chute’ da incerteza como 3, temos uma boa estimativa ‘chutada’”. **(frase 1)**

Após um erro no arredondamento, o estudante encontrou valores diferentes para o desvio padrão, mas escreveu:

“Observamos que o valor adquirido é bem próximo do calculado anteriormente.”
(frase 2)

RBN

Com relação à frase 1, é colocado como critério para uma boa estimativa da incerteza de uma medida sua comparação com o desvio padrão do conjunto de dados.

Parece haver uma confusão o desvio padrão do conjunto de medidas e a incerteza de uma única delas.

Com relação à frase 2, se não houvesse erro de arredondamento, a diferença de valores seria de 0,5ms (12ms e 11,5ms). Mas foi obtida uma diferença de 3ms (12ms e 15ms). Nesse caso, é possível que o aluno tenha dado essa resposta pensando em incertezas (hipótese menos razoável) ou que devido à diferença absoluta ser muito pequena (3 ms) de acordo com os padrões usuais de tempo, os valores são praticamente iguais (hipótese mais razoável). Nesse caso, estaria usando os padrões usuais de tempo, do dia-a-dia, para afirmar o que afirmou.

Como conclusão, um aluno escreveu o seguinte:

“Pelo valor do desvio padrão o grupo de valores obtidos pelos dois candidatos apresenta uma dispersão maior em torno da média do que o valor esperado pela incerteza estimada.” (frase 3)

MAR

Pela frase 3, parece que, para esse aluno, a incerteza estimada para uma medida deveria, de alguma forma, dar conta da dispersão do conjunto de medidas em torno da média.

“Ao comparar o desvio padrão (a incerteza das medidas) com a incerteza estimada, notamos que esta última é bem menor que a primeira. Isso se deve ao fato de que a nossa estimativa foi muito precipitada. Na verdade a leitura estava bem mais obstruída do que imaginávamos.” (frase 4)

LDM, TGA, TFS

Consideram que a incerteza estimada para uma medida deveria dar conta da dispersão do conjunto de medidas.

“Como o desvio padrão é uma característica da medida e do procedimento de medida, ao comparar a incerteza estimada com o desvio padrão, nota-se uma variação

entre a incerteza estimada e o desvio padrão em torno de 1 cm, considerando que a incerteza estimada foi baseada na incerteza instrumental e nas condições gerais adotadas para a medição, pode-se dizer que esta incerteza é satisfatória, pois ficou bem próxima do desvio padrão.” (frase 5)

RBD

Considera que a incerteza estimada para uma medida deveria dar conta da dispersão do conjunto de medidas.

“Observamos que o aluno B tem reflexo melhor que do aluno A, comparando os desvios padrão.” (frase 6)

FMN

Aqui, nesse comentário, é feita uma comparação entre desvios padrão e não entre médias e desvios padrão. A conclusão de quem tem melhor reflexo deveria levar em conta esse dois fatores. Verificando os valores obtidos pelas médias e desvio padrão, o aluno B tem mesmo melhor reflexo que A, mas a frase acima mostra que a média não foi levada em conta.

Essa frase traz a idéia de que é a maior precisão do dado que indica que ele é melhor.

Quando foi pedido para se fazer um comentário da diferença obtida entre o desvio padrão das medidas e a incerteza estimada (para uma medida), um aluno se expressou da seguinte forma:

“Há grande diferença entre a incerteza estimada (1 cm) e o desvio padrão calculado (2,30 cm), basicamente devido à imprecisão do chute inicial [incerteza estimada]. Não temos, ainda, uma idéia de grandeza da incerteza, falta-nos experiência.” (frase 7)

AAS

Aqui, parece que o aluno não diferencia uma medida de um conjunto de medidas. Na concepção dele, apenas conhecendo o instrumento é possível se conhecer a dispersão desse conjunto.

Outro comentário a respeito da diferença obtida entre o desvio padrão das medidas e a incerteza estimada:

“Os desvios padrão calculados na tabela, não são iguais à incerteza estimada (0,5 cm), devido as incertezas envolvidas (erros) não estarem ligadas ao fato de observar uma medida, mas sim, dependem da habilidade de cada aluno. Se os desvios padrão fossem iguais à metade da divisão da régua (no caso 0,5 cm), o aluno seria considerado um perito em medições.” (frase 8)

FPM, IVG, MAL, TMH

Vemos aqui que os alunos estão fixados no medidor (pessoa que faz a medida). Aparece também uma concepção errônea de que um medidor habilidoso conseguiria um desvio padrão igual à suposta incerteza da régua (metade da menor divisão da mesma). Se assim o fosse, não haveria flutuação nos valores se a régua fosse solta por uma máquina ao invés de ser por uma pessoa.

Relatório 2 – Introdução a medidas físicas (determinação da densidade de um sólido)

Descrição do experimento

Nesse experimento, os alunos deveriam medir as dimensões de um sólido com três instrumentos diferentes (régua, paquímetro e micrômetro), pesá-lo e, de posse desses dados, determinar a densidade do mesmo. Todos os valores deveriam estar acompanhados de suas respectivas incertezas.

Após isso, deveriam fazer algumas discussões que diziam respeito aos resultados obtidos, à adequação dos instrumentos de medida e à validade desse método de determinação de densidades e de identificação do material da peça.

“Os valores obtidos com o paquímetro e o micrômetro, entretanto, não concordam. Provavelmente isso é fruto da imprecisão da leitura ou equipamento não calibrado.”

(frase 9)

AAS

A causa mais provável da discordância não está entre essas que foram apontadas pelo aluno. Ele não percebeu que a provável causa seja o próprio objeto medido, porque por mais regular que o mesmo aparenta ser visualmente, não é. Para essas determinações propostas, aplica-se um modelo de regularidade da peça, mas esse modelo tem limitações, que não foram percebidas pelo aluno.

“As incertezas do micrômetro e do paquímetro coincidiram no cálculo da densidade devido à adequação de notação realizada no final dos cálculos.”

[...]

“Concluimos que nessa situação o melhor instrumento a ser usado é o micrômetro, pois é o instrumento que tem a maior precisão e com isso uma menor margem de erro.”

(frase 10)

RBN

Na frase, o aluno afirma que completou o valor de uma grandeza com zero à direita para que seu número de casas após a vírgula e o de sua incerteza ficassem iguais. Fez as contas com um número inferior de significativos após a vírgula e depois, com o cálculo das incertezas, percebeu que era insuficiente o número de significativos usado e completou com zero. Parece que esse último dígito, o completado, se refere a algo tão pequeno, que não faz diferença acrescentá-lo. O valor obtido para a densidade utilizando o micrômetro foi de $8,4 \text{ g/cm}^3$ e a incerteza desse valor foi de $0,02 \text{ g/cm}^3$. Assim, houve o acréscimo de um zero no valor da densidade para haver coerência entre o número de significativos do valor sua incerteza. Se as contas tivessem sido feitas com o número correto de significativos, o valor obtida para a densidade teria sido $8,45 \text{ g/cm}^3$ e não $8,40 \text{ g/cm}^3$ como ficou após o acréscimo do zero.

Na segunda parte afirmou que o melhor instrumento a ser usado é o micrômetro. Porém os resultados obtidos com o micrômetro e com o paquímetro foram os mesmos, exatamente iguais; isto porque, apesar do micrômetro ser um instrumento mais preciso que

o paquímetro, no cálculo da densidade a precisão da balança que mediu a massa da peça influencia o resultado. A precisão da balança limita a precisão do valor da densidade; assim, esse aluno não percebeu que não adianta utilizar um instrumento muito preciso na obtenção do valor do volume da peça se a precisão final do valor da densidade é influenciada também pela precisão do valor da massa.

“Podemos ver que o volume achado entre os valores medidos com o paquímetro e o micrômetro estão bem próximos. Quando calculamos a densidade elas se tornam iguais – $2,740 \cdot 10^{-3} \text{ g/mm}^3$ – (utilizando somente dois significativos depois da vírgula e um zero para acertar o valor com suas incertezas).” (frase 11)

PSC

Caso idêntico ao da frase 10, em relação a completar com zero à direita.

“As medidas obtidas no paquímetro e no micrômetro apresentaram quase o mesmo intervalo de confiança (67% de conter uma medida do mensurado).” (frase 12)

FMN

Há aqui uma confusão entre a incerteza estimada e o desvio padrão, como se o intervalo estimado com as incertezas contivesse essa probabilidade de 67% de conter o “valor verdadeiro” da grandeza. Considerando um conjunto de dados que possui distribuição normal, o desvio padrão é uma faixa de valores, definida matematicamente, que possui aproximadamente 67% dos valores obtidos dentro dela. E isso não significa que uma única medida, com uma incerteza estimada visualmente, tenha esse “intervalo de confiança”.

Essa porcentagem, 67%, foi apresentada na apostila do curso como o valor aproximado do intervalo de confiança de um desvio padrão.

“Comparando os três resultados, podemos notar que quanto mais preciso o instrumento, melhor é a aproximação da densidade em relação a do material que é feito o cubo que se foi analisado.” (frase 13)

SCS, WBS

Parece aqui que foi feita distinção entre um hipotético valor da densidade (a densidade que o material é feito, segundo o aluno) e o valor obtido experimentalmente, como se essa determinação experimental não tivesse valor em si mesma, e sim na medida em que ela se aproxima desse valor hipotético; além disso, parece que esse valor hipotético da densidade que “o material é feito” seria um valor “absoluto”, obtido diretamente, sem utilização de medidas e, conseqüentemente, sem incertezas. Portanto, nessa frase há uma desconsideração das incertezas.

“O resultado mais confiável é o apresentado pelo micrômetro e o menos confiável pela régua, mas em ambas as dimensões de densidade existe a concordância de resultados até a quarta casa à direita da vírgula o que leva a conclusão que até quarta casa a medição é confiável.” (frase 14)

MAH

Os valores de densidade obtidos por ele foram:

- com a régua: $(0,00115 \pm 0,00006) \text{ g/mm}^3$;
- com o paquímetro: $(0,001142 \pm 0,000011) \text{ g/mm}^3$;
- com o micrômetro: $(0,001145 \pm 0,000010) \text{ g/mm}^3$.

Com os três instrumentos os valores até a quarta casa são iguais. Entendemos que o “ser confiável” nesse caso significa “ser precisa”, “sem dúvida”, e isto não está relacionado às incertezas, pois se for somado ou subtraído dos valores as incertezas, o valor da quarta casa muda no caso dos resultados obtidos utilizando a régua. É como se depois da quarta casa estaríamos tratando com “detalhes” que não são importantes. Além disso, ele levou ao extremo o modelo de regularidade da peça.

“Verificamos que os valores obtidos para o volume da peça ficaram muito próximos, o que nos indica que embora a precisão de cada um dos instrumentos

empregados seja diferente, o resultado obtido pela régua não variou muito em relação ao do micrômetro. Podem assim dizer que a régua, embora não seja o instrumento adequado para a experiência, não prejudicou em muito o seu resultado.” (frase 15)

MCB

A colocação de que a régua não é adequada não tem fundamento, uma vez que o valor obtido com a mesma deu próximo ao valor obtido com o micrômetro, segundo o próprio aluno. Essa frase traz a idéia de que a régua, pela menor precisão, não permitiria um acesso ao “valor verdadeiro” da medida.

“Acho que para medir a densidade a régua já é bom instrumento, pois o paquímetro e o micrômetro tem suas incertezas na 2ª e 3ª casas depois da vírgula, enquanto a balança a incerteza está na 1ª casa depois da vírgula. Coincidindo com a régua.” (frase 16)

API

Apesar de errar as incertezas, encontrou valores mais precisos para o valor da densidade através da utilização do paquímetro e do micrômetro. Mais precisos que o valor obtido com a utilização da régua. Assim, não tem sentido o que ele afirma.

Entendemos que o aluno está querendo dizer que se o algarismo incerto está na primeira casa após a vírgula nas medições com a balança, não tem sentido ter precisão maior com os outros instrumentos.

“Os volumes e as densidades concordam entre si, ficando mais próximos das medidas exatas ao utilizarmos instrumentos melhores – o paquímetro ao invés da régua e o micrômetro ao invés do paquímetro.” (frase 17)

RMN

Existência de um valor exato, absoluto.

Numa discussão sobre a concordância ou não dos valores obtidos com os diferentes instrumentos, uma aluna respondeu o seguinte:

“Discordam devido ao micrômetro ser bem mais preciso que a régua.” (frase 18)

CGF

Esta aluna errou as incertezas, havendo, por isso, essa aparente discordância. No entanto, mesmo com os valores corretos, ainda há essa discordância, causada, possivelmente, por irregularidades na peça e não pelas diferentes precisões dos instrumentos de medida utilizados.

“Os resultados dos volumes e densidades concordam entre si, pois considerando a precisão de cada instrumento, os resultados foram próximos.” (frase 19)

COC

Na verdade, os resultados obtidos por ela com os diferentes instrumentos não foram próximos. As dimensões da peça deram valores bem diferentes.

Para a densidade, ela obteve o valor de $(9,2 \pm 0,5) \text{ g/cm}^3$ com a régua e $(7,618 \pm 0,015) \text{ g/cm}^3$ com o micrômetro.

“Levando em conta o tamanho da peça que foi medida, os instrumentos utilizados são suficientemente precisos, apesar da régua ter uma incerteza relativamente grande a medida executada por ela também é precisa, porém se quisermos ter uma medida mais exata e próxima da ideal devemos utilizar o micrômetro.” (frase 20)

LAS

Aqui aparece que, na concepção dele, uma medida “ideal” seria aquela que fornecesse o valor exato da grandeza medida.

Na discussão sobre a concordância ou não dos valores, uma aluna respondeu o seguinte:

“Os resultados concordam entre si, pois verificamos que a incerteza se propagou como deveria.” (frase 21)

THA

Os resultados não concordam entre si porque a incerteza se propagou como deveria, e sim porque são medidas de uma mesma peça e o modelo de regularidade funcionou. Havia a possibilidade da não concordância, pois o modelo de peça regular poderia não ser adequado. O aluno ficou somente na matemática, considerando que esta não pode estar errada.

“Os valores do micrômetro estão discordando. Pois esperava que o valor máximo e o valor mínimo estivesse entre os valores máximos e mínimos do paquímetro e da régua.” (frase 22)

RSV

Inadequação do modelo da regularidade da peça não foi levada em conta.

“Por último, a falta de habilidade do experimentador pode ter influenciado no resultado final.” (frase 23)

“Com a densidade obtida [...] podemos identificar a peça como sendo provavelmente cobre de densidade $8,9 \cdot 10^{-3} \text{ g/mm}^3$. A diferença entre a densidade do cobre e as densidades calculadas, poderia ser explicada pelas incertezas de medição e também por possíveis impurezas na peça.” (frase 24)

FLG

Em relação à frase 24, os valores de densidade obtidos por ele foram:

- com a régua: $(9,31 \pm 0,45) 10^{-3} \text{ g/mm}^3$;
- com o paquímetro: $(8,394 \pm 0,043) 10^{-3} \text{ g/mm}^3$;
- com o micrômetro: $(8,555 \pm 0,017) 10^{-3} \text{ g/mm}^3$.

Houve algum erro no cálculo do valor da densidade obtido utilizando a régua, o correto, refazendo os cálculos, seria $(8,82 \pm 0,45) 10^{-3} \text{ g/mm}^3$.

Esses valores obtidos, considerando a maior precisão obtida com a utilização do paquímetro e do micrômetro, estariam mais próximos do valor da densidade do latão, não do cobre. Mas o que chama a atenção na frase é o aluno dizer que a diferença obtida poderia ser explicada pelas incertezas, pois mesmo considerando-as, os valores (com paquímetro e micrômetro) não chegam a $8,9 \cdot 10^{-3} \text{ g/mm}^3$.

Relatório Simplificado 3 – Pêndulo Físico

Descrição do experimento

Nesse experimento os alunos deveriam obter experimentalmente o período de oscilação de um pêndulo físico, comparando-se os resultados obtidos através de dois métodos de medida: um utilizando um microcomputador controlado por um contato elétrico e outro utilizando um cronômetro manual. Através do método manual foi feita a medição do tempo decorrido para algumas oscilações, cujo valor era superior ao do período, para facilitar na medição; através desse valor encontrava-se o período. Após isso, deveriam comparar os valores obtidos através dos dois métodos com a previsão teórica. Essa experiência foi realizada em grupo.

“O valor obtido com o microcomputador é bastante preciso, o que não ocorre com os valores obtidos com o cronômetro manual. Acredito que essa diferença se deu principalmente devido a quantidade de períodos (três) que utilizamos para obter o valor t_c [período obtido com o cronômetro], além do fato de que o cronômetro era disparado manualmente o que inclui um erro devido à “falhas humanas”. (frase 25)

JNS, MSM, MCB, RSM

No trecho é atribuído um erro na medição com o cronômetro devido a “falhas humanas”.

“A previsão teórica concorda com os valores obtidos pelo microcomputador (T_M) e pelo cronômetro (T_C), mas isso se deve à alta incerteza relativa de T_T [previsão teórica para o período do pêndulo], próxima de 8%.” (frase 26)

Mais à frente:

“(...) o valor T_C também deverá aproximar-se de T_M se desconsiderarmos o tempo de reação da pessoa que acionou e parou o cronômetro.” (frase 27)

Como conclusão, escreveu:

“O valor experimental mais provável do período do pêndulo foi medido com o cronômetro e vale $(0,99 \pm 0,04) 10^3$ ms. O valor concorda com a previsão teórica dentro das incertezas experimentais. O método, no entanto, não é o mais adequado para medir pequenos intervalos de tempo, pois o tempo de reação do experimentador pode falsear a medida.” (frase 28)

AAS

Na frase 26 é colocado que os valores só concordaram devido à alta incerteza. Traz a idéia de eu se a incerteza fosse menor, os valores não concordariam. No entanto, se a incerteza fosse menor, o valor obtido também não seria o mesmo, podendo continuar concordando, coisa que o aluno não percebeu. Parece que é feita uma distinção entre o valor e a incerteza, como se fossem coisas independentes.

Nas frases 27 e 28 é possível se perceber que o aluno não se deu conta que se medindo com o cronômetro o tempo de reação da pessoa que está medindo é inerente à medida. Está pressupondo também que o erro que advém do tempo de reação é sistemático.

Além disso, é afirmado no segundo trecho que o valor mais provável é aquele obtido através de um método qualificado como “não adequado” devido à “influência” de quem faz a medida.

“A previsão teórica pela equação T é boa mas seria preciso levar em conta outras correções como forças de atrito entre o eixo de rotação e a haste móvel do pêndulo e forças de resistência do ar. A medição pelo microcomputador é um pouco mais precisa que a previsão teórica em razão de levar em conta as forças de atrito que atuam na haste em movimento.

A medição pelo cronômetro é a menos precisa em razão de levar em conta o tempo de reação de cada pessoa.

Conclusão: o valor obtido pelo microcomputador é o que mais se aproxima da realidade porque leva em conta as forças de resistência e não depende do tempo de reação de cada pessoa.

O valor da previsão teórica discorda em aproximadamente 16 ms do valor experimental por não levar em conta as forças de resistência e as condições ambientais do laboratório como pressão e temperatura.” (frase 29)

MAH

Este aluno também colocou o erro na medição com o cronômetro como sistemático. Além disso, parece que a interferência do sujeito que mede piora a medida.

Como discussão dos resultados, um aluno escreveu o seguinte:

“A partir dos resultados obtidos, podemos verificar que a cronometragem manual, se aproxima da previsão teórica, enquanto os resultados do computador se afastam do valor teórico. Quando da realização do experimento, esperávamos encontrar valores mais perto do teórico com a utilização do computador, por considerá-lo um equipamento mais preciso, devido a menor interferência do homem, já que com o cronômetro são necessários os sentidos (visão e o reflexo) que poderiam aumentar a margem de erro, [mas] não foi o que aconteceu.” (frase 30)

Na conclusão, encontramos o seguinte:

“O método utilizado é perfeitamente coerente com o dispositivo usado, não sendo necessário um equipamento que disponha de uma precisão além de décimos de segundo, pois existem influências externas como: resistência do ar, deflexão do parafuso limitador do ângulo de disparo, oscilador acoplado (mola) no fim do curso. Anulando qualquer possibilidade de uma precisão maior na detecção do período real.” (frase 31)

CNM

Na frase 30 o aluno coloca uma “incerteza do reflexo e visão do operador” como um erro sistemático. Aparece a idéia da interferência humana como algo negativo nas medidas.

Na frase 31 ele coloca que as “influências externas” interferem na detecção do “período real”, como se o período verdadeiro não fosse obtido através de medições (onde todas essas “influências externas” estão presentes), mas sim através de um modelo teórico que as desconsidera.

Como discussão, um grupo escreveu o seguinte:

“Comparando os valores [...], nota-se que o T_M [período obtido com o microcomputador] é o período intermediário, que sua incerteza é a menor e que este valor também é o mais próximo do valor encontrado na previsão teórica dentro da incerteza de cada um dos períodos. Assim sendo, utilizar um cronômetro para medir o período do pêndulo não seria um método muito eficiente, pois com o cronômetro estaríamos “incluindo” no processo de medição a velocidade relacionada com o reflexo humano e este fator influencia significativamente na medida. Já com o microcomputador as únicas interferências foram o atrito, o amortecimento oferecido pela colisão com a mola e o tempo que a informação levou para ser processada.” (frase 32)

Como conclusão, o grupo escreveu:

“O valor experimental mais provável do período do pêndulo foi medido com o computador (...). O valor concorda com a previsão teórica dentro das incertezas experimentais. O método utilizado é adequado para medir pequenos intervalos de tempo. Desde que se utilizem ângulos pequenos e se construa um modelo que ofereça a menor interferência possível. Como por exemplo, escolher uma mola que pudesse devolver ao pêndulo uma velocidade v igual a velocidade v' apresentada pelo pêndulo caso a mola não existisse, no ponto de impacto.” (frase 33)

DJF, PSC, RBN, RBD, FMN

Na frase 32 encontramos que o erro na medição com o cronômetro é sistemático e que a influência de quem faz a medida é negativa.

Na frase 33 entendemos que o trecho “se construa um modelo que ofereça a menor interferência possível” está querendo dizer que deva se construir um aparato experimental onde se tem o cuidado de evitar influências que não estão previstas no modelo teórico, como perdas por atrito.

Houve um caso em que duas alunas, que fizeram a experiência juntas, entregaram dois relatórios por não saberem que poderia ser entregue um só. Mas os dois são praticamente idênticos. Dessa forma, utilizarei frase de apenas um deles e tomarei como se fosse das duas.

“Os valores obtidos pelo cronômetro e pelo computador estão bem diferentes do calculado teoricamente. O valor obtido pelo cronômetro está 36% menor do que o teórico.

Isto se deve principalmente pela influência do reflexo humano. Este valor, assim como o obtido pelo computador (que está 26% menor), provavelmente estão muito diferentes pois o valor teórico foi calculado por uma fórmula que previa um ângulo muito pequeno (onde $\sin \theta \approx \theta$) e o ângulo utilizado foi de 90° graus, o que alterou seu resultado.” (frase 34)

AMP, SUP

Imputam ao reflexo humano a responsabilidade pela discrepância nos valores obtidos. Depois disso dizem que as diferenças foram devido à utilização de um ângulo grande, pois com o computador não há como colocar a responsabilidade na pessoa que fez a medida como no caso anterior.

O que houve, na verdade, é que elas erraram o valor da previsão teórica. O valor calculado corretamente concorda com o obtido com o cronômetro.

Como conclusão:

“O valor experimental mais provável do período foi medido com o cronômetro e vale 1025+-6ms. O valor concorda com a previsão teórica dentro das incertezas experimentais. O método usado não é adequado para medir pequenos intervalos de tempo, visto que mostrou uma alta flutuação dos valores experimentais.” (frase 35)

RCR, TPS, UKS

Aqui é colocado que o método é inadequado devido à alta flutuação das medidas.

“O valor experimental mais provável do período foi obtido com o cronômetro manual, que concorda com a previsão teórica, embora este não seja o método mais adequado para medir pequenos intervalos de tempo, devido ao tempo de reação humano.” (frase 36)

FCS, JAT, PAC, RMN

Essa colocação mostra uma idéia de que uma intervenção mais direta da pessoa que realiza a medida é algo negativo.

“O valor mais provável do período foi obtido com o microcomputador (1020,265 ms), se colocarmos a incerteza na última casa da medida, o valor não concordará com o valor obtido através da previsão teórica. Isso ocorreu devido as incertezas das medidas do pêndulo (comprimento, área, massa), e também porque o computador não é tão preciso a partir dos milésimos de segundo (podendo ser verificado através das 5 medidas obtidas).

Já o cronômetro só mede até milésimos de segundo, o que já é muito levando-se em conta o tempo de reação do operador.

Com todas essas considerações, o microcomputador é o instrumento mais adequado para essa medida, desde que se leve em consideração apenas (até) o milésimo de segundo, onde a medida começou a variar.” (frase 37)

API

Esse aluno colocou todos os valores de medidas sem incertezas, além de não calcular desvio padrão e desvio padrão da média, não podendo, assim, fazer comparações válidas entre valores.

Na frase há a idéia de que a flutuação dos valores das medidas como falta de precisão. Aparece também a idéia da influência negativa de quem realiza as medidas.

“Os resultados práticos diferem da previsão teórica, principalmente os do cronômetro, demonstrando que este não é um bom método para determinação do período de um pêndulo físico. Os possíveis erros dão-se pelo tempo de reação do aluno, atrito da barra com o ar e o ponto de aplicação.” (frase 38)

ABC, AYS, JPR, RSM

Esse grupo errou a previsão teórica, por isso os valores obtidos com o cronômetro por eles ficaram diferentes do previsto.

Colocam o erro do cronômetro como sistemático e não aleatório.

Além disso, atribuem os erros aos atritos. Há aqui duas possíveis interpretações: ou se está levando em conta uma inadequação do modelo usado no cálculo da previsão teórica, onde os atritos não entram; ou se está afirmando que o atrito é a causa de algum erro, usando uma concepção de que o certo é a previsão teórica e o atrito é uma fonte de erro porque faz com que o valor medido não seja igual à previsão teórica.

“O Cálculo teórico mostra que as medidas efetuadas no experimento com mola estão bem coerentes, pois podemos notar que a diferença entre o período teórico e o período experimental está na casa dos centésimos de segundo, e isto é razoável para o nosso experimento. Temos ainda que considerar os eventuais erros nas medidas, isto é, no cronômetro manual temos o tempo de reação de cada candidato e temos também os erros devido ao atrito da haste com o ar e com o ponto de suspensão.” (frase 39)

MVG, ATT, RJL, LAS

As causas colocadas como possíveis para a divergência entre o resultado teórico e o valor obtido com o cronômetro também estão presentes nas medidas realizadas com o computador, o que não foi levado em conta. Como na frase anterior, o erro do cronômetro aparece como sistemático e o atrito como fonte de erro.

“O valor experimental mais próximo do valor teórico é o que foi realizado sem a mola com o tempo medido pelo microcomputador. Isto deve ao fato de que as medidas feitas com o microcomputador são mais precisas porque o tempo de reação de uma pessoa não interfere na medida, como no caso do cronômetro.” (frase 40)

DLC, RMM

Novamente aparece aqui o erro da medição com o cronômetro como sistemático e a idéia da influência negativa de quem realiza as medidas. Esse grupo também errou a previsão teórica, o valor deles que mais se aproximou do modelo teórico foi o obtido com o cronômetro.

“Podemos notar que a medida mais “correta” incide no cronômetro com mola pois esta abrange em seu intervalo de confiança a previsão teórica, devemos ressaltar que a diferença nos outros valores podem ter ocorrido devido a alguns inconvenientes como influências da atmosfera, perda de energia cinética pelo choque com a mola ou devido a resistência do ar, e no caso do cronômetro devemos considerar o tempo de reação do ser humano.” (frase 41)

DWG

Idem 39.

Relatório Simplificado 4 – Conservação de energia I – A mola espiral

Descrição do experimento

Inicia-se aqui uma série de experimentos onde é tratada a conservação da energia. Nesse caso a conservação é numa mola espiral. Nesse experimento, os alunos penduraram diferentes pesos em uma mola espiral que estava presa, pela sua extremidade superior, a um suporte. Do lado desse arranjo havia uma régua, o que tornava possível a medição da elongação da mola em função da força aplicada a ela.

Neste caso não foram exigidas discussão e conclusão, por isso só foi possível analisar poucas frases dos estudantes como as relacionadas abaixo.

Os alunos deveriam fazer gráficos da energia em função da massa ao quadrado e as frases abaixo se relacionam com isso.

Após os valores da energia não terem conservado, um grupo escreveu:

“Concluimos que o aumento da massa ao quadrado leva a um aumento da energia potencial elástica e uma diminuição da energia potencial gravitacional, o que é razoável dizer que a energia total é praticamente conservada.” (frase 42)

COC, CMB, RZN, CGO

Pelos dados apresentados por esse grupo, a energia total não se conservou.

Analisando o gráfico da energia em função da massa ao quadrado, um grupo escreveu:

“Os coeficientes lineares representam o valor da respectiva energia quando a variável massa x massa é nula (ou seja, quando a massa é nula), assim, temos (para massa = 0): energia potencial gravitacional = 0,0033, energia potencial elástica = 0,1864 e energia total ($U_t = U_g + 2.U_m$) = 0,03758.” (frase 43)

JAT, PAC

Nessa frase temos uma série de informações interessantes. Primeiro que, para esses alunos, não surpreende que exista energia potencial (que era o assunto do experimento)

diferente de zero mesmo com a massa nula. Esse resultado seria satisfatório fisicamente com a estimativa das incertezas, já que a essa, provavelmente, colocaria o valor zero dentro de um intervalo de valores possíveis. No entanto, em todo o relatório não foi utilizada e nem feita nenhuma menção a incertezas pelo que acreditamos que essa consideração do valor da energia independente do da massa venha daí; fazendo as contas, utilizando somente os valores das grandezas, como se fossem absolutos, eles chegaram a isso, sem necessidade de uma avaliação extra.

Após a não conservação da energia devido a um erro conceitual (atribuição de energia negativa à mola), um grupo escreveu o seguinte:

“O problema da não conservação foi causado ao erro na parte experimental e não na parte teórica. O método deveria ser diferente.” (frase 44)

DLC, RMM

O problema da não conservação foi devido ao erro conceitual, na parte “teórica” do relatório, e não no método.

Relatório Simplificado 5 – Movimento de um corpo com atrito viscoso

Descrição do experimento

Neste experimento foi utilizado um equipamento que forma uma espécie de “trilho de ar” e possibilita o estudo do movimento de um corpo numa situação quase sem atrito. Para o caso em questão, o equipamento foi mantido inclinado, num ângulo escolhido previamente, e da extremidade mais elevada foi solto um corpo (puque) que deslizou sobre o trilho num movimento onde o atrito entre ele e a pista era quase nulo devido ao colchão de ar que havia entre eles. No corpo foi colocado um anteparo formado por uma armação de varetas de madeira e papel de seda (que fica semelhante a uma vela de navio) e a ação da resistência do ar nesse anteparo causa um atrito viscoso.

A função do experimento era a de estudar a fase transitória do movimento do corpo sob a ação da força gravitacional (que é constante) e a força de atrito viscoso (que depende da velocidade do corpo). A fase transitória se dá enquanto esta última for inferior à componente da força gravitacional na direção do movimento, o que ocorre enquanto não for atingido um certo valor para a velocidade.

O movimento do pique foi registrado através de faíscas que saíam de uma ponta faiscadora localizada no mesmo e que fazia marcas numa fita localizada ao lado do trilho.

“Os resultados obtidos foram os esperados considerando as incertezas. Através do método experimental verifico que quando $v=0$ o anteparo não influencia na força resultante porém no fim do plano inclinado é imprescindível para a diminuição da aceleração.” (frase 45)

APA

Essa aluna não calculou nenhuma incerteza em seu trabalho, apesar de citá-las na conclusão. A maioria das referências nessa frase são a objetos e não a medidas.

“Colocando-se as duas velocidades no mesmo gráfico [a velocidade medida diretamente e a calculada] vemos que coincide vários pontos dentro da incerteza, mas ficou outra quantidade fora que representa algum procedimento errado que não conseguimos detectar.” (frase 46)

JBM, ZCC

Aqui não é colocada a hipótese de flutuação dos dados, simplesmente se considerou que havia procedimentos errados. No entanto, nos parece que, no caso, a idéia é que esse procedimento errado foi devido à falha dos experimentadores.

“Podemos observar que, através do gráfico da velocidade, o fenômeno aproxima-se muito do que é observado na experiência, pois os dados são coletados com maior precisão. Já o gráfico de aceleração teve pontos dispersos, pois informações foram perdidas devido à derivação dos dados da velocidade. A Segunda curva feita através da equação [ficou] longe do esperado devido ao fato de v_0 [velocidade inicial do pique] e b [coeficiente de atrito viscoso com o ar] terem sido tirados de uma curva nada precisa.” (frase 47)

APD, FMN, JAF, SAP

O fato do fenômeno se aproximar do que é observado na experiência parece significar que estão utilizando a teoria como se fosse o fenômeno em si e a experiência uma forma de se chegar nele.

Quando se fala da segunda curva, parece que colocam a culpa no procedimento.

“Os resultados obtidos estão, em sua maioria, de acordo com os valores calculados para a velocidade do pique. Em nossa experiência, porém, verificamos que o movimento foi desacelerado ao final da trajetória (comprovado pela queda da velocidade instantânea observada no gráfico 2), cuja causa provável deve ser uma falha durante a execução da experiência. Se desconsiderarmos os pontos onde se percebe esta falha, observamos que a curva de velocidade teórica e instantânea são perfeitamente compatíveis.” (frase 48)

CFS, JNS, MSM, MCB, RSM

Aqui é citada uma falha (do procedimento ou deles próprios) durante a execução do experimento como causa provável de uma desaceleração verificada no final da trajetória do pique. Além disso, desconsideram o que deu errado pra dizer que deu certo. A teoria dizia que não podia desacelerar no final, então desconsideraram a parte que desacelerava, considerando uma “falha”.

“Os resultados obtidos estão, em sua maioria, de acordo com os valores calculados para a velocidade do pique. Em nossa experiência, porém, verificamos que o movimento foi desacelerado ao final da trajetória. Se desconsiderarmos os pontos onde se percebe esta falha, observamos que a curva de velocidade teórica e instantânea são perfeitamente compatíveis.” (frase 49)

SCS, WBS

Um primeiro comentário em relação a essa frase diz respeito a ela ser idêntica à anterior, com exceção de um pequeno trecho. Este grupo copiou a frase do grupo anterior.

Assim, cabe aqui o mesmo comentário da frase anterior em relação a desconsiderarem uma parte pra dizer que deu certo.

“Com esta experiência verificamos que o movimento estudado não tem uma função linear, então ajustamos a função em questão aos pontos obtidos inicialmente e transformamos a função não linear (curvilínea) em uma reta e com isto pudemos concluir que o método experimental é eficaz conseguimos demonstrar em dados e graficamente o regime transitório de um movimento de corpo rígido na presença de atrito viscoso.” (frase 50)

DAA, CNM, FLG

Esse grupo fez ajustes de funções que claramente não descreviam os dados experimentais. Devido a isso, não poderiam concluir o que concluíram uma vez que seus ajustes não correspondiam aos dados obtidos.

Apesar disso, disseram, que o método experimental foi eficaz porque conseguiu “demonstrar” o regime transitório de um movimento de corpo rígido na presença de atrito viscoso, que era, justamente, o objetivo do experimento. Isso estaria correto se não fosse a ressalva acima do ajuste de funções que não descreviam os dados experimentais.

“O ponto de maior imprecisão do experimento estava na oscilação da faísca em torno do ponto previsto, o que procuramos amenizar acrescentando as incertezas.” (frase 51)

AMP, SUP

As incertezas não são acrescentadas para amenizar imprecisões, mas são inerentes ao processo de medida. A palavra amenizar dá a idéia de que é possível até eliminar a imprecisão.

“Este método mostrou-se adequado para a descrição do regime transitório de um movimento com atrito viscoso. No entanto há uma propagação muito grande das incertezas. Apesar de obter uma função apta a descrever o movimento, seria precipitado concluir que a teoria foi comprovada neste caso pois, como mostra o gráfico 4, o logaritmo da aceleração apresenta uma curva pouco homogênea, levantando dúvidas a respeito dos dados obtidos.” (frase 52)

GUL, SIP, SEK

Aqui aparece a idéia de que a alta incerteza não permitiu se comprovar a teoria. Não é concebida a inerência da incerteza à medida.

É dito que a função obtida é apta a descrever o movimento. Na verdade, a função descreve o movimento e não que seja apta a descrevê-lo. O resultado obtido está sendo tratado como menos válido que uma previsão teórica do mesmo.

“E podemos ver que elas [as velocidades do puque obtidas experimentalmente e teoricamente] são bem parecidas no início do movimento e que no final cometemos alguns erros pois temos uma imprecisão na medida da distância e como os valores não são inteiros podemos ir carregando esses erros cada vez mais, esse método foi pouco eficaz contendo alguns erros.” (frase 53)

DLC, RMM

Esse grupo não calculou as incertezas e não poderiam, por isso, fazer comparações válidas entre os resultados obtidos e a previsão teórica. Não são utilizados critérios objetivos representados pelas incertezas como fonte de informações para esse tipo de consideração. Preferem tratar por “imprecisão” e “erros do experimentador”, isto é, dificuldades dos instrumentos e do experimentador. Além disso, a “imprecisão na medida da distância”, citada na frase, teria levado a um resultado diferente do esperado, ou seja, eles terem errado o resultado. Colocam que eles mesmos erraram ao dizer “cometemos alguns erros” e posteriormente imputam isso a uma pouca eficácia do método.

“Podemos notar que os valores calculados a partir da fórmula tem uma certa coerência com os valores obtidos no início do experimento, mas com o passar do tempo temos um aumento da diferença entre as curvas mostrando que nossa previsão teórica é válida até certo ponto em que a partir disto os valores se distanciam um pouco, mas mesmo assim podemos dizer que temos uma boa aproximação para nossa teoria.” (frase 54)

MVG, DHE, API

Os valores das velocidades calculados teoricamente e obtidos experimentalmente deram bem diferentes, mas, mesmo assim, foi dito que houve uma boa aproximação. Talvez, por um entendimento de que uma experiência somente dá certo quando se aproxima da teoria, os alunos acabam dizendo que houve aproximação mesmo quando não houve.

“Os resultados encontrados não concordam com os esperados, o que não significa que os nossos resultados estão errados, pois o procedimento adotado trata-se apenas de um modelo, portanto o qual deve ser utilizado até que tenhamos um melhor para substituí-lo.” (frase 55)

FCS, JAT, PAC, RMN

Esse grupo errou na derivação da equação da velocidade, obtendo uma equação errada para a aceleração. Por isso não deu certo. No caso, devido a uma diferença grande obtida, foi colocada uma possível inadequação do modelo (à parte a colocação do procedimento ser modelo, o que deve ter sido devido a uma limitação de vocabulário).

Relatório Simplificado 6 – Pêndulo Simples

Descrição do experimento

O objetivo deste experimento é verificar a conservação da energia mecânica num pêndulo simples. Este consiste de um corpo suspenso por um fio que possui um movimento periódico oscilatório caracterizado por dois graus de liberdade. Para a verificação da conservação, o pêndulo foi solto de um certo ângulo e a trajetória do mesmo foi marcada, através de uma ponta faiscadora, localizada no corpo suspenso, numa fita colocada num suporte abaixo do pêndulo. A fita estava disposta circularmente, assim como era a trajetória do pêndulo.

O pêndulo não foi solto manualmente, mas através de um mecanismo que aciona as faíscas no mesmo momento que o solta. Devido à posição que o mesmo era solto, poderia haver uma oscilação secundária no ponto onde o corpo era preso no fio. Isso poderia ser causa variações periódicas nas energias do pêndulo, fato esse observado por alguns alunos. Este experimento foi realizado apenas pelos alunos do período noturno.

“O conceito de energia é muito importante, uma vez que se verificou que EM UM SISTEMA ISOLADO A ENERGIA SE CONSERVA.

Após terminada nossa experiência, verificamos no gráfico a Energia Mecânica, e podemos perceber algumas pequenas variações. Na prática nenhum sistema está isolado e, como A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA (mecânica) É UM POSTULADO, BASEADO APENAS NA OBSERVAÇÃO, ELE NÃO PODE SER PROVADO. Portanto essas pequenas variações existem pois não foram desprezados o atrito e a resistência do ar. (frase 56)

DJF, IJS, LIV, PSC, RBD, RBN

Nesta frase percebemos que, para esses alunos, o modelo matemático recebe “status” de absoluto. Se diz que “se verificou que em um sistema isolado a energia se conserva” e logo em seguida é dito que “na prática nenhum sistema está isolado”. Não está claro o que está sendo dito com isso, mas parece que a verificação citada é matemática e não física. Isso é confirmado pela expressão “a conservação de energia (mecânica) é um postulado”.

O que ficou totalmente contraditório foi a afirmação de que o “postulado” é “baseado apenas na observação”. Se foi utilizada a observação, significa que podem ocorrer medidas, o que contradiz o que foi dito no resto da frase, inclusive que o postulado não pode ser provado (entendida aqui essa “prova” como verificação através da realização de experimentos).

“Com os dados obtidos e analisados chega-se a conclusão que a energia mecânica média é conservada e não a instantânea como esperava-se. Isso ocorreu devido ao fio do pêndulo ser flexível ocasionando uma outra oscilação ao qual é indesejada para o que nós procurávamos provar.” (frase 57)

SCS, WBS

Nesse caso, no gráfico das energias apresentado por esse grupo, a energia mecânica aumenta com o decorrer do tempo. Apesar da possibilidade, dentro das incertezas apresentadas pelos pontos obtidos, de se traçar uma reta perpendicular ao eixo dos tempos (consistente com a conservação da energia), foi traçada uma reta com coeficiente angular não nulo e positivo, indicando um aumento na energia mecânica e sua não conservação. Há uma incompatibilidade entre o gráfico citado e a conclusão reproduzida a cima.

Além disso, a palavra “provar” já indica que já queriam chegar em determinado resultado, o que poderia explicar a atitude deles de mesmo com os dados não mostrando isso, afirmarem que houve conservação.

“Teoricamente a energia mecânica total deveria ser uma reta e a energia cinética um gráfico igual ou bem próximo da energia potencial, o que não aconteceu. Portanto chegamos a conclusão que isto ocorreu devido o pêndulo ter uma articulação proporcionando ao centro de massa uma oscilação além da normal[...].

Observamos também que esta oscilação não interferiu no gráfico da energia potencial, pois a mesma não é tão influenciada por este movimento como a cinética.”
(frase 58)

AMF, CNM, DAA, FLG

A energia potencial é definida através de uma posição em relação a algum referencial. Se há essa “oscilação além da normal” citada, causando variações na energia cinética e na energia mecânica do pêndulo, há variações também da energia potencial, uma vez que a posição do pêndulo muda devido a isso. No entanto, pela forma que a energia potencial foi determinada, isso não poderia ser percebido através dos dados experimentais. Mas isso não faz com que a variação não exista.

O que parece faltar é uma adequação entre os dados obtidos e a teoria; nesse relatório havia falta das incertezas experimentais.

Relatório Simplificado 7 – Roda de inércia

Descrição do experimento

Neste experimento devia-se verificar a conservação de energia num disco acionado por um peso-motor, conjunto esse também denominado de roda de inércia. No caso, o peso-motor era um pequeno corpo de metal, preso a um fio. Esse fio era enrolado em um disco de acrílico que estava preso a um outro disco de metal de maior diâmetro. Os dois discos eram coaxiais.

Soltando-se o corpo, os discos começavam a girar e duas aletas, diametralmente opostas, presas ao disco maior passavam por um sensor ótico que registrava o tempo entre duas passagens consecutivas, ou seja, meia volta do disco.

“O torque médio da força de atrito encontrado foi de $-0,00061 \pm 0,00005$ N. A Energia mecânica não se conservou pois a experiências não estava isenta totalmente de outras influências e são forças que não conseguimos identificar.” (frase 59)

AMP, SUP

Esse grupo errou o cálculo da energia cinética de rotação do disco, por isso a energia não se conservou.

“Neste experimento pudemos observar que não houve conservação de energia, por menor que seja a perda causada pela força de atrito sobre o eixo de rotação do sistema. O gráfico de energia [...] envolvidas no processo nos mostra exatamente isto.” (frase 60)

AMF, CNM, DAA, FLG

Nesse experimento, as perdas de energia causadas pelo atrito deveriam ser somadas no cálculo da energia total, assim não seriam a causa para uma não conservação da energia. Esse grupo errou no cálculo do trabalho realizado pelo atrito, por isso a energia não conservou.

“A flutuação nos valores da energia total é maior que as incertezas, isto nos mostra que o método experimental pode ser melhorado.” (frase 61)

TPS

Esse aluno errou as incertezas.

“Concluimos através dessa experiência que não ocorreu a conservação da energia devido à força de atrito dissipativa.” (frase 62)

FCS, JAT, PAC, RMN

Na soma das energias, o trabalho do atrito também entrou, por isso o atrito não podia ser a causa da não conservação da energia. O que houve foi que esse grupo errou o cálculo desse trabalho.

“(...) não verificamos a conservação [da energia]. Supomos a perda de energia E devido ao peso estar submetido a uma força de atrito viscoso com o ar, força que se opõe ao movimento de queda do peso.” (frase 63)

CGO, COC, JCN

Esse grupo errou o cálculo do momento de inércia do disco e também no trabalho do atrito, por isso que não verificaram a conservação da energia. A suposição de que a não conservação foi causada pelo atrito viscoso com o ar é sem sentido, pois a área do peso em atrito com o ar é muito pequena e o atrito viscoso, apesar de presente, não poderia causar a enorme perda de energia que apareceu nos dados desse grupo.

“Com esses dados da tabela 2 e com o gráfico das energias percebemos que temos a conservação da energia total, pois o valor do erro é maior que o valor da energia, sendo assim o valor da mesma igual a zero e no gráfico das energias percebemos que as energias são opostas, mostrando que uma se transforma na outra [...] com isso temos a conservação da energia total, mas quando o peso cai, e o disco está sendo freado pelo torque do atrito, então não temos a conservação da energia como mostra na tabela 1 onde os erros são menores que os valores das energias.” (frase 64)

DLC, RMM

Esse grupo errou no cálculo do momento de inércia do disco. Além disso as incertezas da energia total estavam superestimadas, erraram o seu cálculo.

Percebe-se claramente pelo gráfico apresentada a não conservação da energia, mas concluíram que houve a conservação. Também é dito que quando o peso cai não há conservação devido ao torque do atrito, mas o trabalho desse torque também entrou nas contas, não podendo ser a causa de uma eventual não conservação.

“A partir dos dados observados [...], podemos observar que em média o somatório das energias se conserva, apesar de estar aumentando um pouco com o passar do tempo, fato que pode ser explicado pelo fato de que a soma está sendo feita para escalas de tempo diferentes (mas como a diferença é mínima, a conservação da energia ainda pode ser observada).” (frase 65)

FPM, MAL

Esse grupo não calculou as incertezas. Além disso, coloca a limitação no procedimento de determinação dos tempos como causa da não conservação.

“Notamos que a energia mecânica do sistema não se conservou, pois houve o aparecimento de energias dissipativas, que apesar de pequenas, causaram defasagem da energia mecânica do sistema. Essa energia dissipada pode estar na forma de energia térmica, energia de vibração do suporte, energia sonora e outras.” (frase 66)

CGF, MAN

Através dos dados desse grupo é possível verificar que a energia sofre uma leve queda, mas, dentro das incertezas experimentais, era possível perfeitamente, se concluir que houve sim conservação da energia.

Relatório Simplificado 9* – Movimento sob uma força central

Descrição do experimento

Neste experimento devia-se verificar a conservação de energia e do momento angular de um corpo em movimento sob ação de uma força central. Para estudar o fenômeno, um corpo é posto a deslizar quase sem atrito (devido a um colchão de ar existente entre o corpo e a base do aparelho por onde o mesmo desliza) após um impulso inicial e sob a ação de uma mola presa ao mesmo, que também estava presa a um suporte fixo. Para que a força aplicada pela mola seja uma força central, o corpo é lançado de forma que sua velocidade inicial seja aproximadamente perpendicular à força da mola. A trajetória do corpo é marcada, através de um faiscador, numa folha de papel que está num

* Do relatório 8 não foram retiradas frases dos estudantes, por isso após o relatório 7 veio o Relatório 9. No experimento correspondente ao Relatório 8, que era um trabalho que envolvia vetores, foi dito oralmente pelo professor que não era necessário calcular as incertezas nos vetores que estariam envolvidos nas operações, pois ficaria muito complicado trabalhar com incertezas através de desenhos. Não foram encontradas frases significativas referentes a esse Relatório 8 e consideramos que isso foi devido a essa instrução do professor.

plano paralelo ao do movimento do corpo. Além disso, é necessário determinar os parâmetros da mola utilizada no experimento.

Uma parte do trabalho é feita de forma vetorial, ou seja, através de desenhos de vetores.

Neste experimento, assim como no anterior, foi dito oralmente pelo professor que não era necessário se calcular as incertezas nos vetores que estariam envolvidos nas operações, pois ficaria muito complicado trabalhar com esse parâmetro através de desenhos.

Esse relatório não foi realizado pelos alunos do diurno, somente pelo noturno e somente foram entregues cinco relatórios. E, além disso, desses cinco, dois estavam feitos pela metade, não sendo possível obter nenhuma informação relevante deles.

Dos três relatórios completos, um deles ainda apresentava valores sem a apresentação das incertezas.

“Através de um estudo dos gráficos anexos, podemos verificar que tanto a energia mecânica como o momento angular se conservam.” (frase 67)

AAS, CNM, DAA, FLG

Nesse caso a energia não se conservou. Houve um erro na determinação dos parâmetros da mola e, conseqüentemente, um erro na determinação da energia potencial da mola.

5.4 – Classificação das frases

O conteúdo expresso pelos estudantes foi classificado de acordo com as categorias apresentadas anteriormente, e esta classificação se encontra no quadro a seguir:

CATEGORIA	FRASES
A) Flutuação de medidas físicas	1, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 35, 37, 46
B) Incerteza na representação de medidas físicas	6, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 26, 37, 43, 45, 51, 52, 53, 58, 65, 66
C) Influência do observador (ou medidor) nas medidas físicas	8, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 32, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41
D) A Teoria e a relação com as medidas físicas	21, 31, 33, 38, 39, 41, 47, 48, 49, 52, 56
E) Idéias cotidianas sobre grandezas físicas ou objetos	2, 9, 10, 11, 14, 18, 22
F) Interpretação do senso comum para os desvios	
F1) Problemas no procedimento, no método ou no equipamento.	9, 18, 44, 46, 47, 48, 53, 61, 65
F2) Problemas na leitura do aparelho ou na influência de quem faz a medida.	4, 7, 8, 9, 23, 25, 29, 32, 34, 37, 38, 53
F3) Problemas na previsão teórica ou mesmo no modelo adotado.	29, 34, 54, 55, 66
F4) Influências e fatores não previstos quando erram algum cálculo.	59, 60, 62, 63, 64
F5) Afirmam que resultados concordam com o esperado ou que “deu certo” mesmo que os dados mostrem o contrário.	19, 24, 42, 50, 54, 57, 64, 67

As frases que aparecem mais de uma vez no quadro possuem informações que permitiram classificá-las em mais de uma categoria.

Os diferentes relatórios de onde foram retiradas as frases possuíam aspectos específicos, de acordo com o experimento ao qual se referiam, relacionados a situações físicas distintas. Devido a isso, algumas idéias aparecem mais em um determinado relatório que em outros. No entanto, mesmo considerando que a análise das frases para cada um dos relatórios em separado poderia ser útil na interpretação das idéias dos estudantes, este trabalho procurou interpretar essas idéias como um todo, independente da situação disponibilizada e da diferente característica do experimento e seu objetivo. Isso porque não se buscavam as possíveis origens dos erros dos estudantes, mas sim as concepções presentes de um modo geral, diante de questões geradas pelos experimentos do laboratório; estas concepções poderiam ser interpretadas conforme nossa referência teórica.

6 – ANÁLISE DO MATERIAL ESCRITO

6.1 – As concepções de senso comum e a realidade implícita

A seguir faremos uma análise dos nossos dados, baseando-nos nas categorias apresentadas. A interpretação das categorias nos possibilita relacionar as dificuldades que os alunos possuem, relacionadas a medidas e análise de dados experimentais, com concepções mais fundamentais, relacionadas à realidade aparente do senso comum.

Lembramos que nosso referencial para entender o significado dos desvios que o senso comum mostra com relação ao conhecimento científico está na expectativa de atribuir esse comportamento à existência de diferentes campos de realidade e na transposição dos conceitos utilizados cotidianamente para o campo científico.

Os grifos nas frases apresentadas, que foram extraídas do material dos estudantes, são todos nossos.

Categoria A - Flutuação de medidas físicas

Nesta categoria, em que foram incluídas as frases que classificamos como apresentando problemas relacionados à flutuação, foram classificadas frases que possuíam basicamente duas características mais importantes: a possibilidade de se conhecer a dispersão de um conjunto de dados através de uma única medida e a flutuação como algo que desqualificava os resultados obtidos.

Com a primeira característica, temos o exemplo a seguir, que veio de um comentário em relação à diferença obtida, num determinado experimento, entre o desvio padrão das medidas e a incerteza estimada (para uma medida):

“Há grande diferença entre a incerteza estimada (1 cm) e o desvio padrão calculado (2,30 cm), basicamente devido à imprecisão do chute inicial. Não temos, ainda, uma idéia de grandeza da incerteza, falta-nos experiência.” (frase 7)

Nessa frase, o termo “chute inicial” se refere à incerteza estimada. Aqui parece que o aluno não diferencia o valor e o significado de uma única medida do de um conjunto de medidas. Na concepção dele, apenas conhecendo bem o instrumento é possível se conhecer o que seria a “dispersão” desse conjunto, não estando claro o conceito de flutuação como algo inerente a um conjunto de medidas. Além disso, atribui ao experimentador a

responsabilidade pela qualidade da medida, ao mesmo tempo em que admite ter errado na estimativa.

Outro exemplo onde aparece a mesma idéia é o seguinte:

“Ao comparar o desvio padrão (a incerteza das medidas) com a incerteza estimada, notamos que esta última é bem menor que a primeira. Isso se deve ao fato de que a nossa estimativa foi muito precipitada. Na verdade a leitura estava bem mais obstruída do que imaginávamos.” (frase 4)

Aqui, devido ao valor da incerteza estimada para uma única medida ter sido diferente do valor obtido para o desvio padrão do conjunto de medidas, foi considerada a incerteza como subestimada. Novamente, aparece uma concepção que não diferencia o valor e o significado de uma única medida do de um conjunto de medidas e, além disso, a possibilidade de se conhecer as características de um conjunto de dados através de uma única medida.

Com a segunda característica, da flutuação como algo que desqualifica os resultados obtidos, temos o exemplo retirado de um experimento em que os alunos deveriam obter experimentalmente o período de oscilação de um pêndulo físico, comparando os resultados obtidos através de dois métodos de medida: um utilizando um microcomputador controlado por um contato elétrico e outro utilizando um cronômetro manual. Em seguida deveriam comparar os valores obtidos através dos dois métodos com a previsão teórica. Uma resposta encontrada dizia:

“O valor experimental mais provável do período foi medido com o cronômetro e vale 1025 ± 6 ms. O valor concorda com a previsão teórica dentro das incertezas experimentais. O método usado não é adequado para medir pequenos intervalos de tempo, visto que mostrou uma alta flutuação dos valores experimentais.” (frase 35)

Nesse caso, os alunos apresentaram como valor mais provável um resultado que veio de medidas com maior dispersão; qualificaram o método como inadequado devido à flutuação dos valores, o que parece indicar que a “flutuação” é algo negativo, que invalidaria, inclusive, o método utilizado.

Num outro experimento, onde era necessário fazer a comparação entre um gráfico com a velocidade medida de um objeto e outro feito através do cálculo teórico, encontramos:

“Colocando-se as duas velocidades no mesmo gráfico [a velocidade medida diretamente e a calculada] vemos que coincide vários pontos dentro da incerteza, mas ficou outra quantidade fora que representa algum procedimento errado que não conseguimos detectar.” (frase 46)

Nesse caso, a possível flutuação não foi considerada.

As idéias expressas nesses exemplos mostram desconhecimento ou falta de familiaridade com o conceito de flutuação. E como esse conceito está vinculado aos processos que a ciência usa para acessar o mundo, consideramos que há, de certa forma, um desconhecimento desses últimos, que são diferentes das formas usadas no dia-a-dia.

No dia-a-dia, há uma suspensão da dúvida frente aos objetos com que lidamos. Suspensão também da dúvida em relação à possibilidade de definição das características desses, ou seja, há uma consideração da possibilidade da determinação exata dos objetos. Já numa abordagem em que são utilizados métodos da ciência, como em medições para a determinação do valor de uma grandeza, as características daquilo que se mede não podem ser determinadas fazendo as considerações ou utilizando os critérios do dia-a-dia. Mesmo porque, não há a possibilidade de se ter absoluta certeza numa medição. Claro que a consideração de as características de um objeto estarem determinadas é diferente para a ciência e no cotidiano; os critérios cotidianos são mais flexíveis.

Assim, na ciência, há a consideração da impossibilidade da obtenção do valor de uma grandeza com exatidão e, em repetidas medições de uma mesma grandeza, os valores obtidos podem ser diferentes, uma vez que nem todas as condições envolvidas podem ser repetidas. Isso que é chamada flutuação. E essa consideração não é, necessariamente, algo importante nas relações do dia-a-dia, no entanto precisam ser levadas em conta numa medição em ciência.

Assim, enquanto no cotidiano esse conceito – a flutuação – pode não ser necessário, dentro da ciência é fundamental, uma vez que a indeterminação de certas condições faz parte de qualquer medição. E, nesse sentido, a flutuação enquanto não for interpretada e conceituada como algo inerente ao processo utilizado pelas ciências experimentais, fica sem sentido e fora do repertório do senso comum. Como a medição, tal como é feita pela ciência, não é uma técnica comumente empregada no dia-a-dia, sua utilização acaba por revelar um nível diferente de acesso ao objeto ou fenômeno que está sendo medido; uma concepção de senso comum da ciência, adquirida fora do âmbito científico não é

suficiente, ou melhor, não fornece o arcabouço conceitual necessário para compreender como ela concebe a natureza.

As dificuldades com esses conceitos, em nossa interpretação, revela uma transposição conceitual de um campo de realidade, o cotidiano, para outro, o científico, uma vez que os elementos conceituais do dia-a-dia não consideram a flutuação – termo definido e significativo para a Física – como inerente ao processo de se acessar um fenômeno ou objeto. Inclusive, como apareceu em um dos exemplos apresentados acima, a “flutuação” parece ter outro significado, uma vez que ela dificultaria indevidamente o conhecimento de algo com precisão, o que é coerente com a suspensão da dúvida em relação às características dos objetos do dia-a-dia.

Categoria B - Incerteza na representação de medidas físicas

Relacionada a essa compreensão errônea colocada acima está uma outra dificuldade apresentada pelos estudantes nos trabalhos com laboratório: compreender a obrigatoriedade e necessidade de representação e informação de uma incerteza para qualquer medida efetuada; e essa necessidade só pode aparecer se for concebida uma flutuação inerente a qualquer conjunto de medidas físicas. Essa dificuldade se manteve presente durante todo o transcorrer da disciplina que estamos analisando, sendo grande o número de vezes em que os valores das medições foram apresentados nos relatórios sem indicação de incertezas. Além disso, em alguns casos onde se interpretavam e avaliavam resultados experimentais, não eram levadas em conta as incertezas das medidas como critério essencial.

O exemplo a seguir é esclarecedor e parece apontar para essa hipótese: após analisar um gráfico de energia em função do quadrado da massa, um grupo escreveu:

“Os coeficientes lineares representam o valor da respectiva energia quando a variável massa x massa é nula (ou seja, quando a massa é nula), assim, temos (para massa = 0): energia potencial gravitacional = 0,0033, energia potencial elástica = 0,1864 e energia total ($U_t = U_g + 2.U_m$) = 0,03758.” (frase 43)

Essa frase se refere a um gráfico de energia pela massa ao quadrado. Para esses alunos, parece não surpreender que exista energia potencial (que era o assunto do experimento) diferente de zero mesmo com a massa nula. Esse resultado seria satisfatório fisicamente se estivesse associado a uma estimativa da incerteza no valor da energia; essa, provavelmente, colocaria o valor zero dentro de um intervalo de valores possíveis e

prováveis. No entanto, em todo o relatório não foi utilizada e nem feita nenhuma menção a incertezas, e acreditamos que essa consideração do valor da energia independente do da massa venha daí; fazendo as contas, utilizando somente os valores das grandezas, como se fossem absolutos, eles chegaram a isso, sem necessidade de uma avaliação extra. A falta do conceito de incerteza com significado de uma realidade física e inerente a qualquer medida explicaria a resposta inadequada. No gráfico analisado por eles no experimento, foi traçada uma reta, mas não lhe foi atribuído significado físico, talvez, justamente, por faltarem as “incertezas” como critério de adequação entre o empírico (os dados) e o modelo teórico (na ausência de massa haveria ausência de energia potencial).

Outro exemplo:

“E podemos ver que elas [as velocidades do objeto medido, obtidas experimentalmente e teoricamente] são bem parecidas no início do movimento e que no final cometemos alguns erros, pois temos uma imprecisão na medida da distância e como os valores não são inteiros podemos ir carregando esses erros cada vez mais, esse método foi pouco eficaz contendo alguns erros.” (frase 53)

Entendemos que o termo “inteiros” que aparece na frase tem o sentido de “exato”, o que reforça mais uma vez que as incertezas não são esperadas.

Esse grupo não calculou as incertezas e não poderiam, por isso, fazer comparações aceitáveis entre os resultados obtidos e a previsão teórica. Não são utilizados critérios objetivos representados pelas incertezas como fonte de informações para esse tipo de consideração. Preferem tratar por “imprecisão” e “erros do experimentador”, isto é, imperfeição do instrumento e do experimentador.

Uma outra frase é expressa por um aluno após ter realizado a medição do volume de um sólido de forma cúbica, utilizando três instrumentos diferentes: uma régua, um paquímetro e um micrômetro. Após as medições, ele deveria determinar a densidade do sólido utilizando os valores obtidos. Essa frase mostra que a focalização do objeto em si é muito mais importante do que levar em conta as incertezas, para explicar as diferenças obtidas com os diferentes instrumentos.

“Comparando os três resultados, podemos notar que quanto mais preciso o instrumento, melhor é a aproximação da densidade em relação a do material que é feito o cubo que foi analisado.” (frase 13)

Nessa expressão as incertezas não são levadas em conta, somente os valores das grandezas obtidos através das medições. Além disso, parece que, na concepção do aluno, os três resultados, obtidos com diferentes instrumentos, devem ser diretamente relacionados a valores tabelados de densidade; e essa relação não leva em conta as incertezas que também existem nos valores tabelados. Parece estar implícita a idéia de que é possível ter acesso direto à densidade do material, de alguma forma que não através das medidas feitas com suas respectivas incertezas, e que as melhores medidas seriam as que se aproximassem mais desse valor.

A ausência das incertezas acompanhando qualquer medida, bem como a idéia das flutuações como sendo algo negativo e imperfeito, pode estar ocorrendo devido a uma concepção de que é possível se ter acesso direto a um “valor verdadeiro” da grandeza mensurada, talvez com a mesma idéia do acesso aos objetos com que lidamos no dia-a-dia. Faltaria ou não estaria clara a idéia de que qualquer medição é apenas uma estimativa do valor de qualquer grandeza física. Em outras palavras, a realidade concebida pelo sujeito que mede parece ser a mesma concebida cotidianamente, havendo, portanto, um prolongamento das ações e concepções cotidianas para o campo científico.

Há uma outra afirmação nesse sentido, retirada do relatório do experimento em que os alunos deveriam obter, experimentalmente, o período de oscilação de um pêndulo físico comparando os resultados obtidos através do microcomputador e do cronômetro manual.

“O valor mais provável do período foi obtido com o microcomputador (1020,265ms), se colocarmos a incerteza na última casa da medida, o valor não concordará com o valor obtido através da previsão teórica. Isso ocorreu devido as incertezas das medidas do pêndulo (comprimento, área, massa), e também porque o computador não é tão preciso a partir dos milésimos de segundo (podendo ser verificado através das 5 medidas obtidas).

Já o cronômetro só mede até milésimos de segundo, o que já é muito levando-se em conta o tempo de reação do operador.

Com todas essas considerações, o microcomputador é o instrumento mais adequado para essa medida, desde que se leve em consideração apenas (até) o milésimo de segundo, onde a medida começou a variar.” (frase 37)

Esse aluno colocou todos os valores de medidas sem incertezas, além de não calcular desvio padrão e desvio padrão da média, não podendo, assim, fazer comparações válidas entre valores. Além disso, nessa frase considera-se que a variação de um valor o tornaria não confiável. Novamente a questão das flutuações como algo negativo, que

desqualificaria o valor obtido, não permitindo o acesso ao valor correto. A confiabilidade, aqui, não é entendida como na ciência. Para essa última, a confiabilidade não pode estar dissociada das incertezas. E isso não parece estar sendo levado em conta pelo aluno.

Considerar um valor até certo ponto, tal como foi manifestado na parte que sublinhamos, parece indicar que até esse ponto esse valor seria útil ou verdadeiro. Tal como na realidade cotidiana, a parte que é incerta não mereceria crédito no caso. Não é à toa que não está presente o valor das incertezas das medidas obtidas, que seria um critério científico de adequação entre o modelo e a esfera empírica.

A utilização de valores como absolutos está de acordo com a suspensão da dúvida, em relação aos objetos, que temos no dia-a-dia. Assim, se espera valores bem determinados, com características completamente definidas. E, mais que isso, que seja possível se acessar essas características de forma exata.

Esses exemplos reforçam nossa hipótese sobre o porquê da não utilização das incertezas para julgar a qualidade da medida quanto à realidade que ela quer representar; a possibilidade do acesso direto aos objetos e da obtenção do valor verdadeiro de uma medida, através da observação pura e simples, é concebida sem nenhum constrangimento.

Categoria C - Influência do observador (ou medidor) nas medidas físicas

Nesta categoria foram incluídas as frases em que aparecia a concepção de que quanto mais intervenção do experimentador houver, pior será o resultado obtido. Isso tanto para os casos em que o resultado obtido era o esperado como para os casos em que não era. A Categoria F trata das justificativas quando os resultados não estavam de acordo com o esperado e algumas das frases classificadas aqui também o foram lá. No entanto, a concepção da influência negativa do experimentador apareceu também quando resultados obtidos estavam de acordo com os esperados, o que nos levou a criar esta Categoria C.

Aqui não estão os casos em que a influência negativa do experimentador foi devido a erro circunstancial, mas sim os casos em que aparece a idéia de que esse tipo de influência é inerente à intervenção humana. Foram incluídos também os casos em que as “falhas humanas” atribuídas à imprecisão das medidas estão relacionadas à “capacidade” ou “qualidade” dos medidores.

Um primeiro exemplo de frase incluída nessa categoria está logo a seguir, onde a atribuição da diferença nos resultados esperados é feita a “falhas humanas”. Esta frase é uma explicação para o fato de que os valores obtidos com medidas realizadas por um computador e por um cronômetro manual não concordam.

“O valor obtido com o microcomputador é bastante preciso, o que não ocorre com os valores obtidos com o cronômetro manual. Acredito que essa diferença se deu principalmente devido a quantidade de períodos (três) que utilizamos para obter o valor t_c [período obtido com o cronômetro], além do fato de que o cronômetro era disparado manualmente o que inclui um erro devido à ‘falhas humanas’.” (frase 25)

Além da questão das falhas humanas que se encontra na frase, parece que não ficou clara a necessidade de medir três períodos, porque um único período era muito pequeno para ser medida manualmente e acarretaria uma incerteza relativa maior.

A frase a seguir, retirada de um relatório referente ao mesmo experimento da frase anterior, é bastante interessante deste ponto de vista:

“A partir dos resultados obtidos, podemos verificar que a cronometragem manual, se aproxima da previsão teórica, enquanto os resultados do computador se afastam do valor teórico. Quando da realização do experimento, esperávamos encontrar valores mais perto do teórico com a utilização do computador, por considerá-lo um equipamento mais preciso, devido à menor interferência do homem, já que com o cronômetro são necessários os sentidos (visão e o reflexo) que poderiam aumentar a margem de erro, [mas] não foi o que aconteceu.” (frase 30)

Aí fica explícita a questão da “interferência do homem”, mas o experimento foi capaz de mostrar a esses alunos que, mesmo assim, contrariando expectativas, o valor obtido “manualmente” não aumentou a “margem de erro”. Podemos avançar na nossa interpretação das dificuldades apontando também para uma confusão entre um erro aleatório e um erro sistemático; nos parece que a intervenção humana na concepção dos alunos seria fonte de erro sistemático e não aleatório. No entanto, nesse caso, o erro é essencialmente aleatório, porque corresponde à diferença entre o acionamento do cronômetro no início e no final da cronometragem, fazendo com que os tempos de reação se compensem. Portanto, os mais significativos seriam os erros aleatórios e não os sistemáticos.

Mas o que mais chama a atenção nesse tipo de consideração, relacionada à análise que estamos realizando, é a concepção da interferência humana como fator que “obscurece” o acesso e conhecimento do fenômeno. Essa idéia é certamente oriunda do campo cotidiano, onde os fenômenos parecem ser independentes, parecem existir sem a

intervenção humana; neste caso, parecem trabalhar com a idéia de que quanto maior a intervenção do experimentador, pior para o resultado, como se ele pudesse ser encontrado sem qualquer intervenção.

Um outro exemplo:

“O valor experimental mais provável do período do pêndulo foi medido com o cronômetro e vale $(0,99 \pm 0,04) 10^3$ ms. O valor concorda com a previsão teórica dentro das incertezas experimentais. O método, no entanto, não é o mais adequado para medir pequenos intervalos de tempo, pois o tempo de reação do experimentador pode falsear a medida.” (frase 28)

Aqui, representar a incerteza parece ser mais uma exigência formal do que uma indicação de um intervalo de confiança, pois o resultado pode estar “falseado” pela influência do experimentador.

As “falhas humanas”, que aparecem explicitamente na frase 25, atribuídas à imprecisão das medidas estão muitas vezes relacionadas, na concepção dos alunos, à “capacidade” ou “qualidade” dos medidores. O exemplo a seguir, que diz respeito à diferença entre o desvio padrão obtido e a incerteza estimada para uma medida, é significativo:

“Os desvios padrão calculados na tabela, não são iguais à incerteza estimada (0,5 cm), devido as incertezas envolvidas (erros) não estarem ligadas ao fato de observar uma medida, mas sim, dependem da habilidade de cada aluno. Se os desvios padrão fossem iguais à metade da divisão da régua (no caso 0,5 cm), o aluno seria considerado um perito em medições.” (frase 8)

Esses exemplos todos mostram, em nossa interpretação, a idéia da independência do acesso aos fenômenos em relação a intervenção humana. Ou, ainda, que esse acesso estaria ligado a certas capacidades ou habilidades que uns tem mais que outros. Como se as formas de acesso que a ciência utiliza fossem diretas, como se não tivesse existido intervenção humana na construção desse acesso.

Essa é uma atribuição comumente feita à realidade cotidiana, tratada como uma realidade dada, direta, devido à não percepção do componente de construção inerente a ela, cujas razões já discutimos anteriormente. E em algo pronto, o máximo que podemos fazer é contemplar, pois qualquer intervenção mudaria a natureza do objeto, o que não interessa quando estamos estudando as características dele como num laboratório de Física; é a idéia

de um mundo pronto e acabado para os casos das medições no laboratório. Como se a verificação do fenômeno fosse possível sem a intervenção do homem.

No dia-a-dia, apesar da realidade ser tomada como dada, a ação humana existe, os homens se colocam como seres executantes, que agem para alcançar determinados fins. No entanto, não há interesse teórico no dia-a-dia. Já no caso em que estamos analisando, há o interesse de estudar as características de um determinado objeto ou fenômeno e, nesse caso, aparece a preocupação do distanciamento frente àquilo que é observado, como se essa observação pudesse ser neutra e direta, e que não houve ação humana na construção dessas formas de acesso ao objeto ou fenômeno.

Categoria D - A Teoria e a relação com as medidas físicas

Esse fato marcante para a qualidade de qualquer medida, que apela para a capacidade dos medidores e falhas humanas, que apareceu em nossos dados, nos parece ligar-se ao entendimento e utilização da teoria para validar os resultados experimentais, ou seja, considerar como resultados certos, somente aqueles que estão de acordo com o modelo teórico, sem nenhum desvio. Os “melhores” medidores seriam os que conseguissem resultados de acordo com a teoria.

Um exemplo da utilização da teoria dessa forma encontra-se na seguinte frase:

“Este método mostrou-se adequado para a descrição do regime transitório de um movimento com atrito viscoso. No entanto há uma propagação muito grande das incertezas. Apesar de obter uma função apta a descrever o movimento, seria precipitado concluir que a teoria foi comprovada neste caso, pois, como mostra o gráfico 4, o logaritmo da aceleração apresenta uma curva pouco homogênea, levantando dúvidas a respeito dos dados obtidos.” (frase 52)

Aqui se mostra o caso em que a teoria é utilizada para validar o resultado experimental, mas com a ressalva explícita da alta incerteza não permitir se comprovar a teoria e que os próprios dados é que são os responsáveis. Mais uma vez, a inerência da incerteza à medida não é concebida. É dito que a “função [é] apta a descrever o movimento”, mas o resultado obtido está sendo tratado como menos válido que uma previsão teórica do mesmo. E até dúvidas em relação aos dados estão sendo levantadas. A idéia aqui implícita parece ser a de que o modelo teórico pode ser utilizado para validar resultados experimentais, ou mesmo a concepção de que um modelo ou teoria científica tem como referencial o acesso direto ao mundo.

Sobre esse último ponto, da teoria ter como referencial direto o mundo, há outro exemplo:

“O método utilizado é perfeitamente coerente com o dispositivo usado, não sendo necessário um equipamento que disponha de uma precisão além de décimos de segundo, pois existem influências externas como: resistência do ar, deflexão do parafuso limitador do ângulo de disparo, oscilador acoplado (mola) no fim do curso. Anulando qualquer possibilidade de uma precisão maior na detecção do período real.” (frase 31)

Nessa frase se afirma que as “influências externas” interferem na detecção do “período real”, como se o período verdadeiro não pudesse ser obtido através de medições (onde todas essas “influências externas” estão presentes), mas sim através de um modelo teórico que as desconsidera, e que tem como referência direta o fenômeno ou, como é dito, o “período real”.

Sobre esse mesmo ponto há, ainda, o seguinte exemplo:

“Podemos observar que, através do gráfico da velocidade, o fenômeno aproxima-se muito do que é observado na experiência, pois os dados são coletados com maior precisão. Já o gráfico de aceleração teve pontos dispersos, pois informações foram perdidas devido à derivação dos dados da velocidade. A Segunda curva feita através da equação [ficou] longe do esperado devido ao fato de v_0 [velocidade inicial do pique] e b [coeficiente de atrito viscoso com o ar] terem sido tirados de uma curva nada precisa.” (frase 47)

Aqui, o fato do fenômeno se aproximar do que é observado na experiência, como no exemplo anterior, parece significar que estão utilizando a teoria como se fosse o fenômeno em si, ou que a mesma apreendesse esse último em sua totalidade, e a experiência fosse uma forma de se chegar a ele.

Falamos anteriormente, na discussão da Categoria B, sobre a idéia de uma medição fornecendo um “valor verdadeiro”, direto. Associando-se a isso a concepção de que o conhecimento científico vem totalmente dos dados experimentais, chega-se à idéia de que esse conhecimento, suas teorias e modelos, representa um retrato direto do mundo¹³. Dessa

¹³ Acreditamos ser razoável considerar que os estudantes possuem concepções assim, uma vez que imagens empiristas da ciência são bastante comuns. Sobre isso, Harres (1999) faz uma revisão de trabalhos que tratam de concepções sobre a natureza da ciência e afirma haver uma aproximação entre concepções dos professores e uma imagem empirista da ciência. Gil Pérez *et al* (2001) afirmam que “numerosos estudos têm mostrado que [...] o ensino – incluindo o ensino universitário – transmite, por exemplo, visões empíricoindutivistas da

forma, é comum os alunos identificarem a teoria ou o modelo com o fenômeno em si, considerando que esse é totalmente apreendido por aqueles. E quanto melhor for a aproximação dos resultados obtidos com as previsões teóricas, mais bem sucedido é o experimento que realizaram, independente da incerteza associada.

E isso apareceu, inclusive, na Categoria F, onde as justificativas diante da discordância do resultado com a previsão teórica estão mais relacionadas com problemas de acesso ao fenômeno (erros dos experimentadores, problemas com o método). Mas trataremos disso adiante.

Há uma aparente ambigüidade em nossas afirmações, pois dissemos que em algumas frases os alunos consideram que as teorias têm como referencial direto o mundo e que as discordâncias obtidas em medições são atribuídas à falhas do experimentador. E anteriormente dissemos que concebem a possibilidade de se ter acesso a um “valor verdadeiro” da grandeza mensurada através da medição. No entanto, as falhas que atribuem ao experimentador são atribuídas a eles próprios, e não a outros “profissionais” (cientistas, no caso) que parecem ser capazes de acessar os fenômenos e, com eles, construir conhecimentos totalmente verdadeiros. E daí as teorias sendo um retrato fiel do mundo.

Categoria E – Idéias cotidianas sobre grandezas físicas ou objetos

Nesta categoria foram incluídas as frases em que aparece a idéia da caracterização de objetos ou grandezas científicas da mesma forma que objetos do cotidiano.

Há de se levar em conta que no trabalho experimental em Física são utilizados modelos, que não são um retrato fiel do mundo, mas uma simplificação de alguns aspectos desse e que, ao se tratar com modelos, não é possível utilizar os mesmos critérios com que se trata os objetos do dia-a-dia.

Um exemplo é o seguinte:

“As incertezas do micrômetro e do paquímetro coincidiram no cálculo da densidade devido à adequação de notação realizada no final dos cálculos.”
(frase 10)

Nesse caso, o aluno afirma que completou um valor com zero à direita para que seu número de casas após a vírgula e o da sua incerteza ficassem iguais. Fez as contas com um

ciência que se distanciam largamente da forma como se constroem e produzem os conhecimentos científicos.”

número inferior de significativos após a vírgula e depois, com o cálculo das incertezas, percebeu que esse número de significativos usado era insuficiente e completou com zero. A “coincidência” era necessária, então se fez a “adequação”. Assim, a busca da coerência entre o número de algarismos significativos entre o valor da grandeza e sua incerteza, que era uma necessidade imposta pelas regras de trabalho no laboratório, foi feita com um acréscimo arbitrário de um zero e, além disso, foi declarado esse procedimento.

Se o aluno declarou isso, parece que para ele é um procedimento válido, uma vez que se pensasse o contrário muito provavelmente (com sua nota em jogo) isso não seria declarado. Assim, cabe pensarmos o que estaria por trás da idéia da validade disso.

Pensando novamente na questão dos campos de realidade, podemos pensar em como um valor que se encontra na segunda casa após a vírgula (centésimo de g/cm^3) pode ser visto no dia-a-dia. Esse valor é algo muito pequeno, que para situações comuns não faz diferença alguma. Se ele for zero ou dois ou sete, não haverá diferença. Assim, entendemos que na concepção do aluno, que esse último dígito, o completado, se referia a algo tão pequeno, que não fazia diferença acrescentá-lo, ou seja, estaria sendo considerada uma forma usual, do dia-a-dia, pra considerar que aquele dígito, de tão pequeno, não faria diferença.

Num outro caso, semelhante a esse, após um erro no arredondamento o aluno achou valores diferentes para o desvio padrão, mas escreveu:

“Observamos que o valor adquirido é bem próximo do calculado anteriormente.” (frase 2)

Se não houvesse erro de arredondamento, a diferença de valores seria de 0,5ms (12ms e 11,5ms), mas foi obtida uma diferença de 3ms (12ms e 15ms) devido a um erro não percebido. Mesmo sendo de 3 ms, o que é bastante relativamente aos valores de 12ms e 15ms, ele considerou essa diferença em valor muito pequena; o que concorda com os padrões usuais de tempo onde 3 ms, realmente, é algo praticamente instantâneo, por isso os valores foram considerados praticamente iguais, utilizando como parâmetro os padrões usuais, do dia-a-dia.

Um outro exemplo se encontra na frase a seguir, expressa por um aluno após ter realizado a medição do volume de um sólido de forma cúbica, utilizando três instrumentos diferentes: uma régua, um paquímetro e um micrômetro, para em seguida obter a densidade do mesmo utilizando os valores obtidos.

“Os valores obtidos com o paquímetro e o micrômetro, entretanto, não concordam. Provavelmente isso é fruto da imprecisão da leitura ou equipamento não calibrado.” (frase 9)

O volume é a propriedade em foco na análise do aluno. Com cada instrumento foram feitas medidas dos três lados da peça e o valor obtido para o volume foi diferente utilizando o paquímetro e o micrômetro. Aqui, a hipótese da peça medida não poder ser considerada um cubo perfeito, desse modelo não ser adequado, nem foi levantada. Ou seja, a limitação do modelo como tal, a idéia de que este simplifica certos aspectos do mundo, em nenhum momento foi apontada.

A questão que parece estar produzindo a dificuldade é a concepção que o sujeito tem do objeto presente no experimento: a peça de forma cúbica, nesta concepção, é o cubo matemático, idealizado, sobre o qual não há dúvida nem incerteza em relação aos seus lados serem idênticos, geometricamente definidos e ajustados. Então, qualquer suspeita deve ser imputada aos processos que levaram às medidas e aos instrumentos utilizados para isso.

Há que se levar em conta, ainda, que no “nível” cotidiano, do dia-a-dia, quando há esta aparente incoerência, é comum considerarmos que a causa seja uma observação descuidada. Já no campo científico, como é o caso, outros elementos devem ser levados em conta, como por exemplo que a consideração da peça ser um cubo é um modelo utilizado, o que não permite uma transposição das considerações que seriam feitas em um campo para o outro. No dia-a-dia um cubo é um cubo, não há questionamentos em relação ao isso. E é nesse sentido que consideramos que há a transposição de elementos do cotidiano para o âmbito da ciência, produzindo as dificuldades para trabalhar com a teoria que dá conta dos desvios encontrados em qualquer medição.

Categoria F – Interpretação do senso comum para os desvios

Agrupamos aqui as justificativas dadas pelos estudantes quando os resultados obtidos foram diferentes dos esperados. A Dimensão F5, que se refere aos estudantes afirmarem que os resultados concordam mesmo que os dados mostrem o contrário, não é bem uma justificativa para a discordância de resultados, e sim a negação dessa discordância.

Podemos pensar que, de um modo geral, os estudantes são incentivados a obter resultados “certos”; nos vários cursos e disciplinas que freqüentam é assim que são

avaliados, através dos acertos. Dessa forma, a busca por resultados “certos” é algo comum, e que consideramos que os leva, até, a insistir que acertaram algo, afirmando uma concordância mesmo esta não existindo.

Entendemos que há semelhança entre essa Dimensão F5 e a Categoria D, que se refere à utilização da teoria como forma de validar os resultados experimentais. Nesta última entraram os casos em que os resultados eram considerados certos se estivessem de acordo com os resultados teóricos. Já na Dimensão que estamos comentando, há algo semelhante, pois a afirmação de uma concordância inexistente mostra esse desejo pela concordância, essa necessidade do resultado obtido estar de acordo com o teórico, aquele que consideravam como certo.

As frases classificadas na Dimensão F1 dizem respeito à atribuição do resultado obtido a problemas no procedimento, no método ou no equipamento, ou seja, as formas que se utiliza para acessar o fenômeno ou objeto.

Em F2 a problemas na leitura do aparelho ou com de quem faz a medida, que também são as formas de acessar o fenômeno. Essa dimensão possui semelhanças com a categoria C. Algumas frases estão, inclusive, classificadas nas duas. Isso naquilo que diz respeito aos casos em que foi considerada a ação do experimentador como causa de erros ou discordâncias.

Somente em F3 aparece uma menção a problemas na previsão teórica ou no modelo utilizado, mesmo isso não sendo explícito.

As frases classificadas em F4, que imputa a influências e fatores não previstos as diferenças de valores, possuem uma característica específica, que é o fato dos alunos terem errado algum cálculo. E devido a isso, os resultados apresentaram alguma discordância. Nesses casos, em não sabendo a que a atribuir essa discordância, as colocam em influências que não puderam identificar. Esse padrão foi recorrente.

De um modo geral, as justificativas para as discordâncias estão mais relacionadas às formas de acesso ao fenômeno do que às previsões. Isso aparece através do número de frases classificadas em F1 e F2 ser maior que em F3 e F4.

Isso nos mostra que é muito mais comum considerar o fenômeno como algo determinado, com suas características absolutamente definidas e que não se chegar a ele é uma questão de problemas com o acesso. Assim, o que temos, é a consideração de objetos e fenômenos que estão prontos, determinados, sem dúvidas de que sejam daquela determinada forma. E quando isso ocorre, os problemas serão sempre imputados ao acesso a ele.

Os fenômenos no cotidiano são geralmente tratados assim. Uma referência disso é a intersubjetividade deles, a possibilidade de serem percebidos por mais de uma pessoa. Num exemplo hipotético, se três pessoas olhassem para um mesmo objeto e uma delas visse algo diferente das outras duas, estas iriam pensar que a pessoa que viu algo diferente está com algum problema visual. Ou, então, problemas em relação a interpretação das imagens captadas. Agora, quando estamos lidando com fenômenos num laboratório de Física, mesmo que num laboratório didático, a exatidão do fenômeno não é tão certa assim. De fato, o parâmetro de comparação utilizado nesses casos é uma previsão do modelo teórico. E essa, como qualquer modelagem, deixa de lado certos aspectos do fenômeno ou objeto. Assim, pode haver o caso do problema estar na referência, o que é levado em conta em pouquíssimos casos.

Talvez, para que não haja dúvidas em relação a isso, fosse necessário repetir o experimento, para verificar se a discordância obtida se repete. Aí a comparação com as pessoas olhando para um objeto estaria mais correta. No entanto, isso acaba não acontecendo nos laboratórios didáticos, pois os alunos possuem um tempo determinado para a realização dos experimentos, e ficar além do horário da aula para a repetição do experimento pode significar usar o tempo que estava destinado para alguma outra coisa. Além disso, essa postura de repetir o experimento para esses casos também não foi incentivada nessas turmas que acompanhamos.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O laboratório didático de Física coloca desafios para todos, tanto para professores que ministram os cursos de laboratório quanto para os estudantes que os freqüentam. Ele é considerado como algo importante na formação em Física, o que não significa que todos os problemas que envolvem a aprendizagem de Física dos estudantes sejam aí solucionados. Essa aprendizagem está sujeita a certas limitações e ambigüidades e nos trabalhos dos estudantes no laboratório didático encontram-se evidências de um conhecimento inadequado e indesejável se comparados à forma científica de expressá-los.

Frente a esses resultados inadequados, e procurando compreendê-los mais profundamente, nos propusemos realizar a presente pesquisa, buscando levantar algumas dessas dificuldades e interpretá-las à luz de uma teoria pertinente.

Para essa interpretação, que envolveu conceituações de realidade, fizemos uma discussão que problematizava o conceito de realidade, mostrando que esse não é um conceito simples e, mais ainda, não deve ser tratado como tal. Após isso, levantamos a questão de como as pessoas, de um modo geral, lidam com a realidade, nos apoiando em considerações da sociologia, principalmente em Berger e Luckman (2005). Consideramos que esse referencial que adotamos nos permitiu interpretar algumas das dificuldades dos estudantes, bem como alguns resultados inadequados de seus trabalhos no laboratório didático. Através das idéias expostas por esses autores, que afirmam a existência de diferentes campos de realidade, buscamos atribuir à concepção de realidade do senso comum os erros e dificuldades manifestados pelos estudantes quando são convidados a medir e expressar os resultados de uma medida física.

Assim, consideramos que dificuldades em conceber que medidas flutuam, em compreender a necessidade e o significado da incerteza de uma medida, em entender a relação entre teoria e dados experimentais etc., ligam-se, entre outras coisas, a uma deficiência no entendimento dos critérios de definição de realidade utilizados pela ciência, a partir dos quais ela constrói seus conhecimentos; isto é, a ciência define um campo de realidade diferente daquele que tomamos cotidianamente, com critérios também diferentes, e a falta de entendimento desta diferença está na base da falta de compreensão de medida física e sua representação.

Os alunos possuem os critérios de determinação de realidade adquiridos socialmente; como as demais pessoas, tratam a realidade cotidiana como algo independente

de sua ação, como se ela existisse por si mesma. No entanto, mesmo esse “nível” de realidade possui um aspecto construído (BERGER e LUCKMANN, 2005; SCHUTZ, 1974). Cabe aqui fazer uma distinção entre a ação de um único indivíduo, que ao nascer chega a um mundo já formado, e a totalidade dos homens, que em conjunto e ao longo dos anos teve um papel ativo na construção das “coisas”. Assim, retomando um exemplo que trouxemos no capítulo 3, para um indivíduo uma “régua” é uma realidade dada, mas para a humanidade “régua” é um conceito construído; para o indivíduo perceber o componente construído de “régua”, há a necessidade de reflexão, de um certo esforço da sua consciência.

Entendemos que com os objetos e conceitos estabelecidos pela ciência ocorre a mesma coisa; são comumente tomados (e até ensinados) como uma realidade dada, utilizando os mesmos critérios utilizados cotidianamente, o que acaba gerando dificuldades, como as que encontramos com os alunos no laboratório didático; neste campo são exigidos e necessários outros critérios para se entender os processos envolvidos, os critérios definidos cientificamente.

Sobre a questão dos entes da ciência serem tomados como prontos e definitivos, em certo sentido temos um reforço disso nas aulas teóricas de Física, onde se trabalha com exercícios cujos resultados são exatos, cujos valores não possuem dúvidas. Nos parece que esse seja um fator que dificulta o entendimento de conceitos tais como incerteza, algarismo significativo, algarismo duvidoso etc, bem como de toda a série de recursos estatísticos utilizados para lidar com os dados experimentais obtidos no laboratório.

Do mesmo modo, também nas aulas de laboratório tradicional há um incentivo da busca de um valor que seja, se não exato, pelo menos certo. Borges (2002) faz essa crítica, dizendo, justamente, que os alunos enxergam as atividades experimentais como atividades cujo objetivo seria chegar a uma “resposta certa”. A ênfase nos relatórios, que toma muito tempo dos estudantes, levaria a isso, pois parece que o processo todo para obtenção das medidas não interessa, mas somente o resultado na forma de um relatório. Em nosso trabalho isso pôde ser visto em algumas expressões em que os alunos afirmam uma concordância com o esperado mesmo com os dados mostrando o contrário, como se encontrar o “valor certo” fosse o mais importante. Borges também fala sobre a percepção que os estudantes têm das atividades experimentais; que elas são vistas como eventos isolados, desconectadas de seus contextos, e, por esse mesmo motivo, não consideradas relevantes.

Voltando à nossa interpretação, podemos dizer que os estudantes lidam no laboratório com elementos que compõe o campo científico, com a forma científica de lidar com a dimensão empírica; no entanto, estão acostumados a lidar com o mundo de uma outra forma cotidianamente e por isso os elementos do campo científico ficam “sem sentido”, não sendo percebido nem seu contexto e nem sua relevância.

E parece ser assim que os estudantes vêem, por exemplo, as “incertezas”, algo cuja relevância não é clara pra eles, como mostram algumas frases dos estudantes. Mas além dessas frases observamos que era recorrente, nos relatórios analisados, a apresentação de valores sem suas incertezas associadas. E isso apareceu até nos últimos relatórios da disciplina.

O conceito de “flutuação”, relacionado ao de incerteza, também se mostrou ausente e vazio de significado; muitas vezes a diversidade de valores encontrada é tratada pelos estudantes como algo que prejudica o conhecimento. E a busca pelo “valor exato” parece estar por trás de alguns dos problemas com o conceito de flutuação como também com o de incerteza.

Tudo isso parece confirmar nossa suposição anterior de que aquilo que é “incerto” é algo que não mereça crédito. A certeza em relação aos objetos, bem como sua independência em relação à ação humana, são conceitos oriundos do campo cotidiano ou do senso comum. A utilização desses e de outros conceitos correlatos nas atividades no laboratório, não está conseguindo estabelecer o outro significado coerente com a teoria física estabelecida, pertencente ao campo de realidade científico.

Os estudantes também parecem ver uma independência do acesso que temos aos fenômenos em relação à interferência humana. A dimensão construída que este acesso possui não parece ser levada em consideração. A utilização de medidas e demais conceitos como uma forma de acessar o mundo, foi um aspecto construído dentro do contexto científico. Mas tal como o mundo cotidiano, esse componente de construção não parece ser levado em conta.

Esse aspecto construído parece que também não é levado em consideração com relação às teorias e modelos da ciência. Assim, teorias e modelos também são tomados como prontos, definitivos e como referência para avaliarem o quão bom estão os dados obtidos em experimentos; falta uma análise crítica em relação às simplificações, limitações e idealizações dos modelos. Se esses são tomados como um “retrato” do mundo, naturalmente os bons dados são os que concordam com eles; se não concordam, o

problema estaria no processo de medição ou obtenção dos dados, tratando os objetos medidos e o acesso a eles com os mesmos critérios do dia-a-dia.

Sintetizando um pouco mais os resultados, poderíamos agrupar as categorias que apresentamos nos capítulos precedentes em três blocos. Um primeiro diz respeito a uma atribuição mais direta de idéias oriundas do campo cotidiano para as atividades no laboratório (Categoria E).

Um segundo bloco composto pelas categorias onde estão, majoritariamente, frases que vêm de experimentos onde existia um valor teórico de referência (Categorias C, D e F). Nesses casos, esse valor é usado como algo inquestionável, e todos os problemas são imputados aos processos de medição; seja ao sujeito que mede, seja aos aparelhos utilizados. Isso se deve à consideração de que as teorias científicas são um retrato fiel do mundo ou uma descrição direta de fenômenos, tal como uma descrição de fenômenos no cotidiano. Ou seja, isso significa que se as teorias são esse retrato, qualquer problema obtido estaria nos processos de obtenção dos dados, inclusive na ação humana.

Um terceiro bloco diz respeito às categorias que reúnem as frases oriundas majoritariamente de experimentos onde esse valor teórico de referência não existia (Categorias A e B). Dessa forma, a referência passa a ser representada pelos próprios dados obtidos e há uma busca por um “valor exato” e completamente determinado da grandeza medida, tal como são determinadas as características dos objetos do dia-a-dia.

Um outro componente que parece agravar a situação de falta de compreensão da Física no laboratório, e esse é um comentário mais geral, é a ênfase exagerada nos procedimentos estatísticos para quantificar a “qualidade” de uma medida. Mais do que levar ao conhecimento do estudante uma técnica de cálculo adequada às medidas que flutuam necessariamente, isso acaba sendo um distrator em relação ao problema mais fundamental que toca o significado da medida e seu valor como representação de um fenômeno. Nos relatórios elaborados para avaliação do trabalho do estudante nas aulas de laboratório, o que chama a atenção muitas vezes é a quantidade de cálculos ou, o que é pior ainda, de números dados diretamente de uma calculadora, apresentados sem nenhum comentário sobre a avaliação do resultado e interpretações do processo que conduziu a ele.

Mais além disso, parece haver mesmo uma falsa conclusão por parte dos professores de que os alunos não têm bom aproveitamento e não gostam do trabalho no laboratório porque não sabem estatística.

Com isso apontamos o que nos parece serem aspectos relacionados às dificuldades encontradas pelos estudantes ao encararem atividades no laboratório de Física. Isto

também pode explicar a insatisfação com o laboratório didático como, por exemplo, as manifestações que aparecem nas comunidades do Orkut listadas no início desta pesquisa. A aparente falta de sentido das atividades no laboratório, somada à quantidade de tempo gasta na confecção de relatórios, talvez leve, junto com outras coisas, os alunos a “odiar” o laboratório e manter comunidades virtuais para manifestar seus desagrados.

Uma última consideração diz respeito ao material utilizado nesta pesquisa. Levantamos algumas das dificuldades de alunos de uma disciplina de laboratório do curso de Licenciatura em Física da USP. Isso fez com que nossa análise ficasse restrita a um pequeno grupo de estudantes frente à quantidade muito maior que freqüentam disciplinas de laboratório. Apesar de termos consciência disso, consideramos que as dificuldades apresentadas por esse grupo analisado também apareçam em outros grupos em situações semelhantes.

Finalmente, consideramos que as dificuldades enfrentadas pelos estudantes no trabalho no laboratório didático de Física têm como principal fonte um forte componente de uma concepção equivocada, de senso comum, relativa a certos aspectos do campo científico; apesar de haver também outras razões para as dificuldades dos estudantes, como por exemplo a dificuldade com o formalismo estatístico para tratamento de dados, estas podem não ser as mais importantes.

A nosso ver, falta nos cursos básicos de Física uma integração substancial entre o que se ensina nas aulas de laboratório e nas aulas “teóricas”. Entendendo o laboratório com função de introduzir os estudantes às medidas e seus procedimentos, não se pode deixar de considerá-lo também como um espaço de compreensão das teorias e modelos da Física. A integração dessas aulas poderia levar a uma concepção mais adequada de uma teoria ou um modelo Físico, não somente como verdades prontas que descrevem a realidade e devem ser somente verificadas num laboratório, mas como instrumentos de leitura do mundo, sob a ótica da ciência, que podem ser adequados ou não; e a análise das incertezas experimentais é um critério de definição dessa adequação.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M.S.T. e ABIB, M.L.V.S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 25 (2), 176-194, 2003.
- BACHELARD, G. **A filosofia do não**. In: Coleção Os Pensadores, São Paulo: Abril Cultural, 1978.
- BAROLLI, E. **Reflexões sobre o trabalho dos estudantes no laboratório didático**. Tese (Doutorado em Educação). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- BARRA, E.S.O. A realidade do mundo da ciência: um desafio para a história, a filosofia e a educação científica. **Ciência & Educação**, 5(1), 15-26, 1998.
- BERGER, P. e LUCKMANN, T. **A construção social da realidade: tratado de sociologia do conhecimento**. 25. ed. Petrópolis: Vozes, 2005.
- BLOSSER, P.E. O papel do laboratório no ensino de ciências. Trad. Marco A. Moreira. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.5 (2), 74-78, 1988.
- BODGAN, R. e BIKLEN, S. **Investigação Qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto Editora, 1999.
- BORGES, A.T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.19(3), 291-313, 2002.
- CATELLI, F. **O Alvorecer da Medida: uma gênese virtual**. Caxias do Sul: EDUCS, 1999.
- CHALMERS, A.F. **O que é ciência afinal?** 1.ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.
- CHIBENI, S.S. A inferência abdutiva e o realismo científico. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, série 3, 6(1), 45-73, 1996.
- CUDMANI, L.C. e SANDOVAL, J.S. Modelo Físico e realidade: importância epistemológica de sua adequação quantitativa; implicações para a aprendizagem. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.8 (3), 193-204, 1991.
- DUARTE JÚNIOR, J.F. **O que é realidade**. São Paulo: Brasiliense, 1988.
- DUTRA, L.H.A. **Introdução à Teoria da Ciência**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998.
- FEYERABEND, P. **Contra o método**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977.
- GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I.F.; ALIS, J.C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, 7(2), 125-153, 2001.

HARRES, J.B.S. Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino. **Investigações em ensino de ciências**, 4(3), 1999. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n3/v4_n3_a2.htm>. Acesso em: 16 abril 2007.

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

HESSEN, J. **Teoria do Conhecimento**. Coimbra: Editora Coimbra, 1987.

KNELLER, G.F. **A ciência como atividade humana**. São Paulo: EDUSP, 1980.

KUHN, T. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 9. ed. São Paulo: Ed. Perspectiva, 2005.

LABURÚ, C.E. e SILVA, M.R. Do relativismo no ensino de física ao objetivismo na física. **Investigações em ensino de ciências**, 5(2), 2000. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n2/v5_n2_a3.htm>. Acesso em: 15 dezembro 2003.

LUDKE, M. e ANDRÉ, M.E.D.A. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: Editora EPU, 1986.

MARINELI, F.; OLIVEIRA, M.C.; GUIMARÃES-FILHO, Z.O. e PACCA, J.L.A. Uma interpretação para os erros nas representações das medidas realizadas no laboratório didático. In: Garcia, N.M.D. (org.). **Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Curitiba: CEFET-PR, 2003, 1905-1920. 1 CD-ROM.

MARINELI, F. e 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, I.; OGBORN, J. e GUNTHER, K. Explicando uma explicação. **Ensaio**, vol. 1, nº1, 29-46, 1999.

MEDEIROS, A.F. **Análise das Dificuldades dos Alunos num Curso Introdutório de Laboratório de Física para Engenheiros na Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências: Modalidade Física). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MEDEIROS, A.F. e MELO, A.S. O Papel da Teoria de Erros no Laboratório Didático de Física. **Atas do V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física**. UFMG. Belo Horizonte, 642-651, 1996.

PACCA J.L.A. e VILLANI, A. Categorias de Análise nas Pesquisas sobre Conceitos Alternativos. **Revista de Ensino de Física**, v.12, 123-138, 1990.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em ensino de ciências**, 4(3), 1999. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n3/v4_n3_a3.htm>. Acesso em: 17 dezembro 2006.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo. Cap. 1, p. 9-32. In: ____ (Org.) **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PINHEIRO, T.F. **Sentimento de realidade, afetividade e cognição no ensino de ciências**. Tese (Doutorado em Educação: Ensino de Ciências Naturais). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PLASTINO, C. E. **Realismo e anti-realismo acerca da ciência: considerações filosóficas sobre o valor cognitivo das ciências**. Tese (Doutorado em Filosofia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

REGNER, A.C.K.P. Carta a um jovem pesquisador. **IC on-line**. Porto Alegre, v.1, n.1, out. 1996. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/propesq/revista/n1v1/carta.htm>>. Acesso em: 30 junho 2003.

ROBILOTTA, M.R. **Construção & Realidade no Ensino de Física**. Apostila da disciplina Construção & Realidade no Ensino de Física, oferecida no IFUSP no programa de pós-graduação interunidades em Ensino de Ciências. 2004.

ROCHA BARROS, A.L. Realismo espontâneo e realismo científico. **Anais do simpósio sobre filosofia da ciência**. Publicação ACIESP nº 12, 101-103, 1978.

SARAIVA, J.A.F. **A Teoria de Piaget como sistema de referência para a compreensão da “Física Intuitiva”**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências: Modalidade Física). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

SCHMIDT, I.P. **O que há por trás do laboratório didático?** Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências: Modalidade Física). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SCHUTZ, A. **El Problema de la Realidad Social**. Buenos Aires: Amorrortu, 1974.

SÉRÉ, M.G.; JOURNEAUX, R. e LARCHER, C. Learning the Statistical analysis of measurement errors. **Int. J. Sci. Educ.** v.15, nº4, 424-438, 1993.

SÉRÉ, M.G.; COELHO, S.M. e NUNES, A.D. O Papel da Experimentação no Ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.20(1), 30-42, 2003.

SILVA, M.R. Realismo e anti-realismo na ciência: aspectos introdutórios de uma discussão sobre a natureza das teorias. **Ciência & Educação**, 5(1), 7-13, 1998.

THOMAZ, M.F. A experimentação e a formação de professores de ciências: uma reflexão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.17, n.3, 360-369, 2000.

VILLANI, A. e CARVALHO, L.O. Representações mentais e experimentos qualitativos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 15, nºs (1 a 4), 1993.

Anexo 1

guias das experiências e relatórios dirigidos

L1 - EVENTOS ALEATÓRIOS

“teste do bêbado”

OBJETIVOS

Analisar um conjunto de dados aleatórios determinando sua média, desvio padrão e desvio padrão da média. Comparar médias de diferentes amostras estatísticas.

INTRODUÇÃO

No Brasil (assim como em boa parte do mundo), as leis de trânsito vêm sendo cada vez mais aperfeiçoadas e tornando-se cada vez mais rigorosas. Nos EUA por exemplo, não é permitido que motoristas dirijam alcoolizados de forma alguma. Aqui, no Brasil, o limite é de aproximadamente um copo de cerveja. Um grupo de amigos conscientes de seu dever cívico, ao ir a uma festa sempre determina quem deverá permanecer sóbrio para dirigir o carro na volta. Mesmo assim, às vezes ocorrem deslizes e o “abstêmio” acaba bebendo o que não devia. Neste caso, apesar de provavelmente ilegal, o grupo decide pelo motorista determinando quem do grupo tem o reflexo mais rápido a um estímulo visual.

O tempo de reação de uma pessoa pode ser medido de forma muito fácil, mas indiretamente, usando uma régua em queda livre da seguinte maneira: Uma pessoa segura uma régua pela sua extremidade colocando o início da escala, na vertical, entre os dedos indicador e polegar quase fechados da pessoa sob teste, que deve tomar o cuidado de não encostar na régua. Veja o desenho ao lado. Sem avisar nem dar qualquer sinal, a régua deverá ser solta e o candidato deverá pegá-la. Pode-se então medir a distância percorrida pela régua entre o soltar e o pegar e então convertê-la em tempo de queda. Essa experiência deverá ser feita em duplas.

PROCEDIMENTO

1) Deduza uma equação $t(L)$ para converter o espaço percorrido pela régua em queda livre, para tempo decorrido.

2) Com uma régua plástica milimetrada, execute o “teste” (pelo menos 10 vezes) para cada um dos componentes do grupo. Para cada “candidato”, prepare uma tabela conforme o modelo da tabela 1, abaixo. **Estime** (chute) a incerteza de um desvio padrão para o espaço percorrido pela régua e anote-a (no título). Converta cada medida de espaço para tempo usando a fórmula do item 1.

Fazer uma tabela para cada aluno

Tabela 1: Espaços percorridos pela régua e tempos de reação.

Candidato:		
medida	espaço percorrido $L \pm \text{_____}$ (cm)	tempo (ms) t
1		
2		
3		
:		
10		
média:	$m_L =$	$m_t =$
desvio padrão:	$s_L =$	$s_t =$
desvio padrão da média:	$s_{m,L} =$	$s_{m,t} =$

completar com a incerteza estimada (metade da menor divisão?). Se for igual para todas as linhas basta colocar no título, não precisa repetir em cada linha

não sabemos ainda propagar incertezas.

colocar aqui os valores medidos

3) Compare a *incerteza estimada* da medida de espaço com o desvio padrão calculado na tabela. Discuta eventuais diferenças. Por que o desvio padrão s_L não é igual à metade da menor divisão da régua? Note que o desvio padrão é uma característica da medida (do aluno) e do procedimento de medida.

4) Neste exercício tivemos que converter cada medida de espaço em tempo, para determinar o desvio padrão dos tempos de reação. Será que não existe outra forma? Será que é possível determinar a média e o desvio padrão dos espaços percorridos e convertê-los diretamente em tempo?

Sabemos converter m_L em m_t . Basta usar a fórmula do item 1. Para determinar s_t , podemos usar o método seguinte: calculamos m_L , $m_L + s_L$ e $m_L - s_L$. Ou seja, a média e os limites superior e inferior do intervalo de confiança de um desvio padrão. Com a fórmula do item 1 podemos converter os três valores para tempo. A metade da diferença dos dois últimos fornece o desvio padrão do tempo.

5) Com os dados do primeiro aluno (tabela 1), complete o Quadro 1 abaixo. Compare o resultado obtido na última linha da quadro 1, ou seja, a estimativa do desvio padrão do tempo calculado a partir da diferença entre o tempo máximo e mínimo: $s_L = \frac{t(m_L + s_L) - t(m_L - s_L)}{2}$ com o cálculo de s_t feito na tabela 1.

Quadro 1. Determinação do desvio padrão do tempo de reação.

deslocamento médio	m_L	
deslocamento médio menos UM desvio padrão: limite inferior	$m_L - s_L$	
deslocamento médio mais UM desvio padrão: limite superior	$m_L + s_L$	
tempo do deslocamento médio	$t(m_L)$	
tempo do limite inferior	$t(m_L - s_L)$	
tempo do limite superior	$t(m_L + s_L)$	
estimativa do desvio padrão do tempo de reação	$s_L = \frac{t(m_L + s_L) - t(m_L - s_L)}{2}$	

SÍNTESE

Deverá constar na sua síntese:

- 1) Dedução da fórmula para conversão de distância em tempo;
- 2) Tabela com os dados de distâncias medidas e tempos correspondentes calculados (com a equação acima) para cada aluno do grupo (Tabela 1);
- 3) Estimativa do desvio padrão do tempo de reação conforme sugerido no quadro 1.

Universidade de São Paulo

FEP 254 - LABORATÓRIO DE MECÂNICA

L2 - Introdução a medidas físicas

Adaptado de: Física Geral e Experimental para Engenharia I – FEP 2195

Objetivos

Determinar o volume e a densidade de um sólido empregando instrumentos de medida dimensional diferentes (régua, paquímetro e micrômetro).

Introdução

Nessa experiência, utilizaremos uma régua, um paquímetro e um micrômetro para medir as dimensões de uma peça e uma balança digital para medir sua massa. Com esses instrumentos vamos medir a massa (m) e as dimensões (comprimento (c), largura (l), altura (a) ou diâmetro (d)), de uma peça. A partir desses dados, calcularemos seu volume (V). A densidade será calculada como $\rho = m/V$. A incerteza no valor do volume e da densidade deverá ser calculada por propagação de incertezas. Finalmente as densidades obtidas com os vários instrumentos deverão ser comparadas entre si e, consultando uma tabela adequada (Handbook of Chemistry and Physics, por exemplo), pode-se eventualmente determinar o material de que é constituída a peça

Atenção: observe a forma deste “relatório”. Note os títulos, a seqüência, a formatação das tabelas e os textos. Esse pode ser usado como um modelo parcial de um relatório.

Revisão teórica

O volume de uma peça _____ pode ser calculado pela equação 1.

colocar a equação da sua peça. (1)
Adequar a notação no texto.

Onde a representa o diâmetro da base, b sua altura, etc.. A incerteza do volume é dada pela equação 2.

Colocar a equação da sua peça. (2)
Usar mais equações se necessário
(numerar de acordo)

A densidade da peça é dada pela equação 3.

Colocar a equação da sua peça (3)

e sua incerteza dada por:

Colocar a equação da sua peça (4)

Metodologia

Solicitar o “kit” medidas físicas no almoxarifado.

A peça escolhida foi _____ (*escolher uma das peças do kit e anotar o número*). As dimensões foram medidas com régua, paquímetro e micrômetro. A massa foi medida com uma balança digital (*marca, modelo, precisão, fundo de escala...*). A densidade do material foi determinada e o material da peça foi identificado comparando sua densidade com as densidades de vários materiais numa tabela de densidades.

Resultados

Utilizando uma balança digital medimos o seguinte valor para a massa da peça:.

Massa da peça : m = (_____ $\pm$ _____) _____.

As dimensões da peça obtidas com uma régua, um paquímetro e um micrômetro são mostradas na tabela 1. As incertezas foram estimadas usando o critério da _____.

Tabela 1 : Dimensões da peça nº. _____

Instrumento de medida			
dimensão	Régua (_____)	Paquímetro (_____)	Micrômetro (_____)
Comprimento			
Largura			
Altura			
Diâmetro			

O volume da peça foi calculado segundo a equação y e as incertezas foram propagadas conforme equações x, xx, xxx... para cada um dos instrumentos. Os resultados estão na tabela II.

Tabela II : Cálculo do volume da peça.

Régua	Paquímetro	Micrômetro

Com os valores do volume da peça e da medida da massa, calculamos a densidade do sólido e sua incerteza. Os resultados e a incerteza propagada estão na tabela III.

Tabela III : Cálculo da densidade da peça.

Régua	Paquímetro	Micrômetro

Discussão

Compare os resultados entre si. Compare as incertezas. Verifique se os resultados dos volumes e de densidade concordam ou discordam. Discuta a adequação dos instrumentos de medida quanto ao excesso ou falta de precisão. Se possível, consulte uma tabela de densidades e determine o material (ou possíveis materiais). Discuta a adequação do método para identificação do material da peça.

Conclusão

A densidade da peça é _____. O material foi identificado como sendo provavelmente _____.

L3 - PÊNDULO FÍSICO

(eventos aleatórios II)

Objetivos

- Obter experimentalmente o período de oscilação (e respectiva incerteza) de um pêndulo físico comparando dois métodos de medida: a) um microcomputador controlado por um contacto elétrico e b) um cronômetro manual.
- Comparar o resultados das medidas com a previsão teórica.

Material Usado

O Pêndulo físico¹ na Figura 1, consta de uma haste rígida móvel que gira em torno do eixo O . O ângulo de disparo pode ser escolhido modificando a posição do parafuso de ajuste. O arranjo está conectado a uma placa “cronômetro” num microcomputador que mede o tempo entre dois eventos iguais e consecutivos (por exemplo a passagem claro-escuro da aleta pela fotocélula). Na posição de disparo a aleta provavelmente estará fora da fotocélula. Durante o movimento e uma vez armado o micro, a aleta passará pela foto-célula que detectará a passagem claro-escuro (t_1). No retorno haverá a passagem escuro-claro (que é ignorada) até que, no retorno, ocorra outra passagem claro-escuro (t_2). O micro então fornece o tempo decorrido $\Delta t = t_2 - t_1$. Rearma-se o micro e pode-se medir outro intervalo de tempo. Para usar o arranjo verifique o nome do programa de controle da placa. **OBS: Devido à grande alavanca, a haste deve ser manipulada com cuidado para não entortar o parafuso de ajuste do ângulo de disparo.**

Metodologia

1. Calcular uma previsão teórica para o período do pêndulo, T_1
2. Escolher um ângulo de disparo θ_0 (pode ser menor que 90°);

Figura 1. O pêndulo físico

Execute o procedimento abaixo de duas formas diferentes: uma mantendo a mola no lugar, outra retirando a mola. Compare os resultados, ou seja: Qual a influência da mola nos resultados?

3. Utilizando um cronômetro manual, determine experimentalmente o período do pêndulo (T_c). Devido ao pequeno valor de T , pode ser necessário cronometrar o tempo decorrido para várias oscilações e calcular o período correspondente. Note que o tempo medido é uma FRAÇÃO do período do pendulo; que fração é essa?

¹ Desenvolvido por J. R. Sartorelli, IFUSP.

4. Com o microcomputador, medir várias vezes o tempo decorrido entre 2 eventos registrados pela foto-célula. Determinar o valor mais provável do *período do pêndulo* medido com o microcomputador, T_m ;

5. Para cada um dos períodos: T_t , T_c , T_m , com e sem mola, determinar a incerteza correspondente;

6. Comparar e discutir os valores de período obtidos. Qual, na sua hipótese é o valor (ou método) que melhor reflete o período do pêndulo?

A seguir está **uma sugestão** de roteiro para escrever um relatório resumido desta experiência. Note: é apenas uma sugestão, não uma obrigação!

Roteiro para o relatório da experiência “Pêndulo físico”

1) Título do trabalho, data, disciplina, professor responsável, nome do(s) aluno(s).

2) Revisão teórica (máximo 1 página):

Neste caso, em particular, isso é necessário pois o assunto provavelmente é novo para você:

Explique resumidamente o que é um pêndulo físico e desenvolva o cálculo do período de um pêndulo físico. Numere as equações. (O texto deve ser um resumo, não escreva um livro!) O leitor é um físico!

Para tanto sugerimos as seguintes referências

- 1. Tipler, P.A. Física, VIb, 2^a. Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, RJ. 1984.*
- 2. Alonso, M e Finn, E. Física, Um Curso Universitário, VI. Trad. G. Moscati Coord. Ed. Edgard Blücher LTDA, 1972.*

3) Materiais e métodos

Descreva o arranjo experimental (use uma figura se necessário), apresente os principais parâmetros e o procedimento adotado para obter as medidas. Redigir de forma simples e seqüencial. Não escrever uma receita. Verbos no tempo passado! (1/2 página no máximo). A idéia é permitir a verificação ou reprodução de seu arranjo e método de medida por um outro experimentador. Exemplo:

Figura 1. *Arranjo experimental (incluir figura ou esboço simples) indicando algebricamente as principais dimensões.*

Quadro 1. *Principais parâmetros do arranjo experimental: Dimensões e valores nominais¹⁴ principalmente os que são necessários para cálculos (do período por exemplo). Pode-se incluir a previsão de cálculo do período da pêndulo usando a equação citada no item anterior. Note que o objetivo é medir períodos, portanto não se perca explicando como usou o micrometro para medir a espessura da barra ou as fórmulas para propagação de incertezas...*

Metodologia: *Descrever como foram obtidos os períodos T do pêndulo com o cronômetro e com o microcomputador, a partir das medidas de tempos (de fração ou de muitas oscilações), ou seja qual a relação entre o tempo medido t e o período T . Quais os cuidados que foram tomados, etc...*

¹⁴ Um valor é nominal quando não foi observado, ou seja, foi definido por outros: tal como a aceleração da gravidade local, a densidade do material tomada numa tabela ou as dimensões fornecidas pelo fabricante.

4) Dados e resultados

Registrar de forma organizada os dados obtidos.

5) Discussão

Analisar os resultados, comparando medidas e métodos entre si, eventualmente criticando interferências e citando possíveis correções. Ilustrações na forma de gráficos são sempre bem vindas. Rever valores médios após exclusão, devidamente justificada, de “pontos discrepantes”.

Tabela 3. Medidas de período de oscilação do pêndulo físico.

método	período sem mola (ms)	período com mola (ms)
previsão teórica (eq xx) T_t		
cronômetro T_c		
microcomputador T_m		

6) Conclusão

*Em geral repetem-se algumas informações anteriores. Pode ser mais ou menos assim:
O valor experimental mais provável do período do pêndulo foi medido com [cronômetro| microcomputador] vale $xxx \pm yyy$ ms. O valor [discorda | concorda] com a previsão teórica dentro das incertezas experimentais. (se discordar, citar hipóteses do porquê). O método usado é (não é) adequado para medir pequenos intervalos de tempo. Desde que se atente para.... etc.*

5) Referências e bibliografia consultada

Citar a literatura consultada observando as normas para citações bibliográficas.

Universidade de São Paulo

FEP 254 - LABORATÓRIO DE MECÂNICA

L4 - Conservação de Energia I

A mola espiral

Nome _____

Objetivos

Verificar a conservação da energia potencial numa mola com peso.

Determinar a equação para modelar a força de uma mola em função da elongação.

Revisão teórica

A força de uma mola espiral pode ser descrita por um modelo linear cujos parâmetros podem ser relacionados diretamente com grandezas físicas da mola: Uma mola espiral, no regime elástico, pode ser caracterizada por 2 parâmetros: Sua elongação inicial L_0 , quando a força aplicada é nula, e a constante elástica K .

No regime elástico pode-se escrever a elongação da mola em função da força aplicada.

$$\vec{F} = -K(\vec{L} - \vec{L}_0) \quad (1)$$

onde K é a constante elástica da mola e L_0 , seu comprimento quando a força é nula. Note que essa força se opõe à elongação.

Considere agora um corpo preso a uma mola colocada em posição vertical, conforme a Figura 1, com uma escala Y **orientada para cima**. Nesse caso, conforme a Figura 1, as **forças que agem no corpo** são dadas por:

$$\vec{F} = [-K(y - y_0) - mg] \hat{y} \quad (2)$$

onde y é a coordenada do centro de massa do corpo (ou de algum ponto fixo em relação ao centro de massa), K a constante elástica da mola, g a aceleração da gravidade e y_0 , **a coordenada do corpo em que a força exercida pela mola é nula**. Observe também a convenção de sinais: No eixo Y definido, a força gravitacional é negativa e para $y < y_0$ a força exercida pela mola no corpo é positiva.

Propomos estudar a conversão da energia potencial gravitacional em energia potencial elástica pendurando massas $M_1, M_2, M_3...$ numa mola e medindo as posições de equilíbrio, $y_1, y_2, y_3...$

Calculemos o trabalho realizado pela força de gravidade e pela mola, ou seja a variação de energia potencial gravitacional (negativa) e na mola (positiva). Na posição de equilíbrio:

$$\vec{F} = [-K(y - y_0) - mg] \hat{y} = 0 \quad (2)$$

Supondo $y_0 = 0$, ou seja, ajustando a origem de nossa escala no ponto de força nula da mola:

$$y = \frac{-mg}{K} \quad (3)$$

O trabalho da força elástica da mola é dado por:

$$W_m = \int_{y_0}^y -K(y - y_0).dy = -\frac{K}{2}(y - y_0)^2 \quad (4)$$

ainda supondo $y_0 = 0$, a variação de energia potencial elástica vale:

$$\Delta U_m = -W_m = \frac{K \cdot y^2}{2} \quad (5)$$

que combinado com o resultado da equação (3) fornece:

$$\Delta U_m = \frac{m^2 g^2}{2 \cdot K} \quad (6)$$

O trabalho da força peso é dado por:

$$W_g = \int_{y_0}^y (-mg)dy = -mg(y - y_0) \quad (7)$$

que, combinado com a equação (3) resulta em:

$$\Delta U_g = \frac{-m^2 g^2}{K} \quad (8)$$

Comparando as equações (6) e (8), verificamos que a variação da energia potencial elástica é METADE da variação da energia potencial gravitacional. Isso parece até violar a lei da conservação da energia! Uma análise mais detalhada nos mostra que, quando penduramos a massa na mola na coordenada y_0 , **o sistema entra em oscilação!** Não há uma posição de equilíbrio! Para obter uma posição de equilíbrio temos que intervir e frear o sistema, ou seja DISSIPAR energia, até que a nova condição de equilíbrio ocorra. O que de fato ocorreu foi que, ao executar a experiência, colocamos a massa em y_0 e com cuidado

e devagarinho baixamos a mão até que o corpo permanecesse parado em sua nova posição de equilíbrio. O que de fato fizemos, foi mover o peso numa condição quasi-estática, de forma que a soma das forças seja nula em todos instantes. Esse processo é denominado evolução quasi-estática: A Figura 2 ilustra o processo formalmente. Matematicamente aplicamos F_{atrito} de tal forma que em qualquer instante:

$$\vec{F}_g + \vec{F}_m + \vec{F}_{atrito} = 0 \quad (9)$$

donde se conclui que:

$$\vec{F}_{atrito} = -(\vec{F}_g + \vec{F}_m) \quad (10)$$

note que quando $F_m = 0$ a força de atrito "sustenta" todo o peso do corpo. Por outro lado, quando $F_m = F_g$, a força de atrito é nula.

Dessa forma, concluímos que a energia que falta, ou seja, $\Delta U = \frac{m^2 g^2}{2.K}$, foi dissipada e perdida.

Figura 2. Equilíbrio quasi-estático com força de atrito

Metodologia

- a) Desenvolva a integral da equação (4);

Para o ensaio, prender a mola num suporte ao qual também foi afixada uma régua plástica milimetrada, conforme esboçado na Figura 3, onde o eixo de referência deverá ser alinhado no sentido de deslocamentos crescentes. Pode-se alinhar a origem da escala milimetrada com algum ponto do suporte de pesos (ou até mesmo com a alça inferior da mola) ou com a alça superior da mola. *Lembre-se de medir a posição das alças superior e inferior da mola e a massa do suporte de pesos.*

Figura 3. Arranjo experimental para ensaio da mola.

Variando a massa no suporte,

- b) Prepare uma tabela (1) contendo: o peso montado, a posição de equilíbrio, e energia potencial gravitacional dada pela equação (7), a energia potencial elástica dada pela equação (4) e a soma $U_t = U_g + 2.U_m$. A aceleração da gravidade local vale $g = 9,7864 \text{ m/s}^2$. Complete a coluna com a energia potencial elástica depois de calcular a constante elástica da mola no item c) a seguir.
- c) Prepare uma Figura (1) graficando a força peso em função do deslocamento y . Ajuste uma reta e determine a constante elástica da mola e a **posição $y = y_0$ em que a força da mola é nula**. Determine o comprimento da mola (distância entre as alças = L_0) quando $F_m = 0$. Note que L_0 e y_0 são grandezas diferentes!
- d) Prepare uma Figura (2) graficando U_g , U_m e U_t em função da massa m , colocada na mola
- e) Numa Figura (3) linearize o gráfico da Figura 2, graficando novamente U_g , U_m e U_t , mas agora em função de m^2 . Procure ajustar uma reta, obtenha os coeficientes angular e linear.
- f) Discuta o significado físico dos coeficientes obtidos na Figura 3.

Síntese.

A síntese deverá conter os itens a) até f).

L5 - MOVIMENTO DE UM CORPO COM ATRITO VISCOSO

Regime transitório

Objetivos

1. Identificar o regime transitório num movimento com atrito viscoso
2. Determinar graficamente os principais parâmetros do movimento no regime transitório.

Resumo teórico

A equação de movimento de um corpo submetido a uma força externa F_g constante, num meio viscoso, cuja força pode ser expressa como $F_v = -b\vec{v}$, é dada por:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_g - b\vec{v} \quad (1)$$

onde b é o coeficiente de atrito. Note que a força viscosa se opõe ao movimento. Esta é uma equação diferencial não homogênea cuja solução é dada pela soma das soluções da equação homogênea e de uma solução particular: Uma possível solução particular é dada pela velocidade constante, denominada *velocidade limite*:

$$\vec{v}_\infty = \frac{\vec{F}_g}{b} \quad (2)$$

que anula os dois membros da equação 1. A equação homogênea é igual a equação 1, exceto pela troca do termo constante F_g , por zero. A solução da equação homogênea $m \frac{d\vec{v}}{dt} + b\vec{v} = 0$ é:

$$\vec{v} = cte \cdot \exp\left(\frac{-b}{m} t\right) \quad (3)$$

A solução geral é dada pela soma das soluções encontradas, dada por:

$$\vec{v} = cte \cdot \exp\left(\frac{-b}{m} t\right) + \frac{\vec{F}_g}{b} \quad (4)$$

A determinação do parâmetro livre, cte é feita aplicando o que se chama *condições de contorno*. A condição de contorno: $v_0 = v(t=0)$, resulta em

$$cte = v_0 - \frac{F_g}{b} \quad (5)$$

Pode ocorrer que $v_0 = 0$. Combinando (3) e (5) temos

$$\vec{v} = \left(v_0 - \frac{F_g}{b}\right) \cdot \exp\left(\frac{-b}{m} t\right) + \frac{F_g}{b} \quad (6)$$

dessa forma, para tempos longos, ou seja, no limite de $t \rightarrow \infty$

$$\vec{v}_\infty = \frac{F_g}{b} \quad (7)$$

nossa já conhecida velocidade limite. Um possível gráfico da equação (6), para o caso particular em que $v_0 = 0$, está na Figura 1. Note que o corpo parte com velocidade nula e aceleração $a = F_g/m$. A força de atrito viscosa passa a agir com intensidade crescente até anular a força externa F_g . Neste momento ($t \rightarrow \infty$) a força resultante aplicada se anula e a velocidade tende a um valor constante, denominada *velocidade limite*.

Figura 1. Velocidade de um corpo com atrito viscoso com velocidade inicial nula. Note que em $t=0$, a aceleração do corpo, $dv/dt = F_g/m$

Estudaremos nesta experiência o período de tempo em que a velocidade ainda não se estabilizou: *no regime transiente*.

Metodologia

Para estudar a fase transitória do movimento de um corpo sob ação de uma força de campo constante (gravitacional) e uma força de atrito viscoso (resistência do ar), será utilizado um trilho de ar, em que uma das extremidades é mantida mais elevada, constituindo assim um plano inclinado. Um corpo (puque) é posto a deslizar sobre o trilho quase sem atrito devido ao colchão de ar que se forma entre o corpo e o trilho. O atrito viscoso é resultado da ação da resistência do ar num anteparo (armação com papel de seda) preso ao puke conforme a Figura (2).

Figura 2. Trilho de ar com puke e anteparo.

Atenção:

- 1) Verifique que haja no final da trajetória um **BATENTE** adequado que absorva a pancada do puke. Evita-se assim danificar o equipamento.
- 2) Cuidado com a alta tensão (20 000V). Garanta apenas uma mão acionando o faiscador e **NINGUÉM** pondo a mão no trilho.
- 3) Não deixe cair o puke no chão. Ele entorta facilmente e ficará inutilizado.
- 4) Estique muito bem a fita registradora. Fita solta ou "barrigas" geram registros falhos.

Procedimento

- 1) Meça ou obtenha os principais parâmetros e dimensões do arranjo experimental; (*ângulo de inclinação do trilho, massa do puke+anteparo, área do anteparo (precisa?), etc...*)
- 2) Desenhe o esquema de forças no puke e determine a resultante das forças que agem no puke, F_g quando $v=0$, ou seja, na ausência de forças viscosas.
- 3) Com auxílio de um faiscador ($t = 1/60$ s) obtenha um registro do movimento do puke, a partir do repouso, em função do tempo; (*apesar de todos os cuidados é praticamente impossível garantir que em seus dados $v_o = 0$. Por isso v_o terá que ser um parâmetro livre a ser determinado. Meça os pontos de 12 em 12 intervalos de tempo. Como a aceleração é pequena, o uso de um período de tempo grande, tipo 12/60 s, reduz as incertezas relativas e como o número de pontos é grande, não compromete o número de pontos para uma análise gráfica.*)

Q1) Qual o melhor procedimento: medir INTERVALOS de espaço percorrido em função do tempo ou medir a POSIÇÃO do puke em função do tempo?

- 4) Prepare uma tabela com, no mínimo, os seguintes campos: *seqüência, tempo, posição, velocidade instantânea, e aceleração instantânea do corpo*. Note que a aceleração, por ser uma derivada, é resultado de uma subtração de duas medidas próximas onde se “somam” as incertezas. Para evitar demasiado “ruído” ou incertezas escolha intervalos de tempo suficientemente grandes (6, 12 ou mais faíscas) para que se possa observar a aceleração, mas não grandes demais que mascarem o fenômeno. *Atenção: cuidado com o cálculo de velocidades e acelerações instantâneas. Siga o procedimento associando a velocidade média à velocidade instantânea no tempo médio do intervalo.*
- 5) Faça um gráfico das medidas da velocidade instantânea do puke em função do tempo numa escala linear (papel milimetrado).
- 6) Faça um gráfico dos dados de aceleração do puke em função do tempo numa escala linear.

A velocidade do puke em função do tempo é dada pela equação (6). A aceleração pode ser obtida derivando essa equação. No caso, obteremos uma função exponencial que, se graficada em papel mono-log, gera uma reta.

- 7) Determine a equação da aceleração do puke derivando a equação (6) em relação ao tempo.
- 8) Grafique novamente os dados da aceleração do puke (item 6) numa escala mono-log. Ajuste uma reta e determine os coeficientes angular e linear. Usando o valor de F_g , nominal calculado no item (2) e os parâmetros da reta ajustada, determine os valores de v_0 e b da equação (6)
- 9) Com os valores de v_0 e b do item 8, podemos também calcular a velocidade do corpo em qualquer instante (eq. 6). Calcule e sobreponha a curva de velocidade do puke **sobre os pontos experimentais da velocidade**, no gráfico do item 5.
- 10) Discuta seus resultados, a qualidade dos ajustes e concordância (ou não) com os pontos experimentais, as principais fontes de incertezas, etc.. e o método experimental.

L6 - Pêndulo Simples

Objetivo

Verificar a conservação da energia mecânica num pêndulo simples.

Materiais

O pêndulo simples na Figura 1 consiste de um corpo suspenso por um fio inextensível e de massa desprezível que possui um movimento periódico oscilatório caracterizado por ter apenas dois graus de liberdade. Com o auxílio de um faiscador ($t = 1/60$ s) é possível determinar a posição do corpo enquanto este oscila. Note que como a trajetória do corpo é circular a disposição do papel usado para a marcação do faiscador também deve ser circular. No caso, para melhor visualização, será marcado apenas meio período.

OBS.: Note que a trajetória registrada é a trajetória da ponta faiscadora e não a do centro de massa do pêndulo. Será portanto necessário corrigir os dados para o centro de massa.

Metodologia

1. Determinar um conjunto de equações para transformar as coordenadas (r, θ) da ponta faiscadora para as coordenadas do centro de massa do pêndulo (r_{CM}, θ_{CM}) . Formalmente, determinar: $r_{CM}(r, \theta)$ e $\theta_{CM}(r, \theta)$.
2. Escrever uma tabela com a posição $(r_{CM}$ e $\theta_{CM})$ do centro de massa em função do tempo (registre apenas os valores a cada $2/60$ s e guarde os intervalos intermediários para calcular as velocidades). Note que, conforme definido na dedução teórica, θ_{CM} é medido a partir do centro da trajetória (posição de repouso do pêndulo).

3. Complete a tabela com mais quatro colunas: a *velocidade angular*, ω , *energia potencial*, *energia cinética* e *energia mecânica total* do centro de massa.
4. Graficar, num mesmo sistema de eixos, em escala linear, a energia cinética, a energia potencial e a energia mecânica total do sistema.
5. Verificar se houve (ou não) conservação de energia mecânica. Discutir seus resultados e (mínimo de 50 e máximo 200 palavras)

Figura 1. O pêndulo simples

NOTA: esta é uma experiência cujo tratamento de dados pode ser muito simplificado com o uso de uma planilha eletrônica tipo Excel, Quattro ou similar.

L7 - Roda de inércia

Objetivos

Verificar a conservação de energia mecânica total num disco acionado por um corpo em queda livre.

Determinar o torque médio da força de atrito no eixo do disco.

Introdução

Figura 1. Roda de inércia.

Dando continuidade ao estudo das leis de conservação na mecânica, usaremos o movimento de um disco acionado por um peso-motor, também denominado *roda de inércia*, para estudar a conservação de energias mecânicas e sua transformação. No caso a ser estudado, um disco, inicialmente em repouso, começa a ganhar movimento tracionado por um peso-motor. O sistema disco e peso-motor pode, em princípio, ser considerado isolado de forças externas a menos de pequeno torque dissipativo do atrito no eixo do disco. O trabalho desse torque pode todavia ser determinado e incluído no balanço de energias do sistema. Uma vez armado, o arranjo tem apenas energia potencial. A medida que o movimento se desenrola, a energia mecânica total é re-distribuída no sistema. No cálculo de energias a energia potencial inicial do peso-motor de massa m é transformada em energia cinética de translação do corpo, de rotação do disco e parte, também dissipada, devido ao atrito no eixo de rotação. Seja m a massa do corpo, I o momento de inércia do disco, a energia total do sistema é dada por:

$$E = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 + |W_{at}| \quad (1)$$

onde W_{at} é trabalho da força de atrito no eixo do disco, a única energia não-conservativa. O trabalho W_{at} pode ser estimado pelo produto do torque pelo ângulo percorrido

$$W_{at} = \int \tau_{at} \cdot d\theta \quad (2)$$

Supondo constante o torque do atrito no eixo, para um determinado intervalo angular:

$$W_{at} = \tau_{at} \cdot \Delta\theta \quad (3)$$

Mesmo que o torque do atrito não seja constante, pode-se ainda supor que seu valor varie suficientemente pouco que permita usar o torque médio no cálculo da Eq. 3. O torque médio da força de atrito pode ser obtido medindo a velocidade da roda em função do tempo num movimento livre (sem outros torques que o do atrito). Um gráfico $\omega \times t$ fornecerá a aceleração angular que por sua vez permitirá calcular o torque dissipativo.

Material Usado

A roda de inércia, descrita na Figura 1, é constituída por um rotor fixo, um fio inextensível de massa desprezível e um corpo qualquer. O rotor é composto por discos coaxiais acoplados rigidamente. Eles têm raios e densidades diferentes entre si. O fio, no caso, está ligado ao disco de raio menor e ao corpo (peso-motor) de tal maneira que seu movimento ocorra ao longo de uma única direção.

Figura 2. Aletas e sensor óptico da roda de inércia.

Os tempos e posições do movimento são obtidos através de um microcomputador ligado a um sensor óptico. Este sensor é acionado por duas aletas previamente colocadas no disco maior em posições opostas do rotor (ver Figura 2). O microcomputador marca o tempo entre a passagem de duas aletas consecutivas, ou seja, a cada meia volta.

Metodologia

Arme o peso motor em sua posição mais alta e dispare o movimento. Com o uso do microcomputador, obtenha os intervalos de tempo, para cada meia volta, até o peso-motor tocar o solo. Deixe o movimento prosseguir sem tração por mais algum tempo para medir o torque da força de atrito. Podemos dividir o movimento em duas partes:

- I) movimento tracionado sob ação do peso-motor e de torque do atrito no eixo. (MUV);
- II) movimento “livre”, apenas sob ação do torque de atrito (também MUV).

Na segunda parte, o movimento do disco está sujeito apenas ao torque do atrito. Vale portanto

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 \cdot t + (\alpha/2)t^2 \quad (4)$$

onde α é a aceleração angular do disco supostamente constante. Supondo θ_0 e ω_0 nulos (ou quase nulos) pode-se obter a aceleração média e conseqüentemente o torque médio desse movimento apenas medindo o tempo decorrido e o ângulo percorrido correspondente.

1. Com os dados da segunda etapa do movimento calcule o torque médio do atrito no eixo do disco.

2. Para a primeira parte do movimento, prepare uma tabela com os seguintes dados:

- tempo (s),
- posição do disco (*é um ângulo*),
- velocidade angular média do disco no intervalo,
- velocidade angular instantânea no tempo

correspondente,

- velocidade instantânea do peso-motor,
- altura do peso-motor em relação a algum referencial,
- energia cinética de translação do peso-motor, K_m
- energia cinética de rotação do disco, K_d
- energia potencial do peso-motor, U_m
- trabalho integrado do torque de atrito no eixo, W_a
- a soma das energias e trabalhos realizados, ΣE .

Atenção. Nesta experiência o intervalo de tempo não é constante. Cuidado portanto ao associar velocidades instantâneas ao intervalo de tempo médio.

3. Grafique num mesmo sistema de eixos as energias e trabalhos calculados acima. (NOTA: *pode ser que seja necessário usar duas escalas diferentes para as energias. Isso pode ser feito definindo escalas diferentes para o eixo esquerdo e direito.*).

4. Analise seus dados e verifique a conservação ou não da energia mecânica.

L9 - Movimento sob uma força central

1. Objetivos

- 1.1. Determinar experimentalmente os principais parâmetros (x_0 , k) de uma mola espiral.
- 1.2. Verificar as leis de conservação da energia e do momento angular de um corpo em movimento sob uma força elástica central.

2. Introdução

Nesta experiência, um corpo preso por uma mola, desliza quase sem atrito sob ação da força elástica da mola que o prende. O corpo é lançado de forma que sua velocidade inicial seja aproximadamente perpendicular à força da mola. A trajetória do corpo é registrada com um faiscador ($\Delta t = 1/60s$) numa folha de papel presa num plano paralelo ao do movimento do corpo. As Figuras 1 e 2 ilustram o arranjo experimental. As principais grandezas de interesse são:

- *energia cinética do corpo*
- *energia potencial elástica na mola*
- *energia total*
- *momento linear* $\vec{P} = m\vec{v}$
- *momento angular* $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P}$

Figura 1. Puque sobre mesa sem atrito. Vista lateral

Se o movimento ocorrer no plano, isto é, se a mesa estiver perfeitamente nivelada, a força peso no puque é compensada pela força normal, restando apenas a força da mola. No sistema puque mola, as energias em jogo são:

- Energia cinética de translação do puque;
- Energia potencial da mola.

Figura 2. Puque sobre mesa sem atrito com força elástica central. Vista de topo

A energia potencial da mola pode ser determinada medindo a distância centro-do-puque até o centro-do-pino que prende a mola (*descontando eventuais ganchos e prendedores*) e os parâmetros da mola (k , x_0). Cuidado deve ser tomado ao calcular a variação de energia potencial da mola, uma vez que a energia potencial não varia linearmente com seu comprimento, donde ocorre que, um erro em seu comprimento distendido (x_0) pode acarretar sério erro na energia potencial. A energia cinética de translação do puque é calculada determinado a velocidade do puque em alguns pontos. Para esses cálculos, qualquer ponto fixo à mesa pode ser usado como referencial.

Isolando o puque, não se pode afirmar que a soma das forças externas (mola) seja nula, conseqüentemente o *momento linear* não é conservado! Pode-se provar entretanto, que no caso de uma força central (como neste caso), o momento angular $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P}$ é conservado. Basta adotar o ponto fixo da mola como origem do sistema de coordenadas. Neste caso, o vetor $\vec{r}$ é paralelo à força que a mola exerce no puque, donde se tem que o produto $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = 0$. Conseqüentemente $\vec{L}$ é constante. Novamente, qualquer ponto do espaço pode ser usado como referencial para medir $\vec{r}$ e $\vec{P}$. No entanto, a medida do momento angular pode ser muito

simplificada se adotarmos o ponto fixo da mola como origem.

Q1. Desenhe o esquema de forças no puke, mostre que o torque é nulo e demonstre que nestas condições, o momento angular se conserva.

Q2. O que acontece com o momento angular do puke (e sua eventual conservação) se a origem for deslocada para o início da trajetória do puke (x' , y'), conforme ilustrado na figura 2 ?

A medida das energias, envolve a medida da energia cinética do puke e a energia potencial da mola. Esta última tem que ser feita com cuidado e compreende duas etapas:

a) **Medida dos parâmetros da mola: x_0 e k .** Para tanto basta pendurar a mola num suporte e medir sua elongação (a partir de algum ponto fixo) em função do peso aplicado. Cuidado tem que ser tomado na medida da elongação, dado que a montagem mecânica da mola no puke e o registro do faiscador (do centro do puke ao centro do pino fixo) provavelmente não coincide com as distâncias medidas no seu arranjo. Note que a energia potencial é uma função quadrática da elongação:

$$E_p = \frac{1}{2} k(x - x_0)^2 \quad (1)$$

que pode ser expandida

$$E_p = \frac{k}{2}(x)^2 + \frac{k}{2}(x_0)^2 + k.x.x_0 \quad (2)$$

Um eventual **erro** em x_0 , **não** implica num simples acréscimo aditivo da energia, como pode ser visto no último termo da equação (2), expandida.

b) **Determinação da energia potencial da mola:** Para isso é necessário medir a distância do puke ao centro fixo (para alguns pontos da trajetória) e determinar a elongação da mola. Conforme discutido acima, deve-se cuidar para estimar corretamente o valor de x_0 .

3. Metodologia

1. Responda as questões Q1 e Q2.
2. Monte o arranjo experimental da Figura 1. Teste o arranjo algumas vezes ANTES de colocar (e desperdiçar) o papel sensível. Prenda o papel sensível, verificando que esteja MUITO BEM ESTICADO, com o lado brilhante para fora. Prepare o arranjo, dispare o puke e obtenha sua trajetória.
3. Num outro arranjo experimental, meça a elongação da mola em função da força, faça um gráfico, ajuste uma reta e determine os parâmetros da mola.
4. Voltando para a trajetória registrada, selecione cerca de 8 pontos ao longo da trajetória do puke. Determine e velocidade instantânea do puke e a elongação da mola. Calcule as energias cinética, potencial e total. Grafique os valores de forma conveniente
5. Nos mesmos pontos acima, determine o momento angular do puke, usando explicitamente a relação: $L = m.r.v.\text{sen}\theta$
6. Verifique e discuta a conservação ou não da energia e do momento angular.