

Alessandro Damásio Trani Gomes

**Uma investigação sobre a
aprendizagem dos conceitos de
evidência no laboratório escolar**

Belo Horizonte

2009

Alessandro Damásio Trani Gomes

**Uma investigação sobre a aprendizagem dos conceitos de
evidência no laboratório escolar**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação: Conhecimento e Inclusão Social, da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação.

Linha de Pesquisa: Educação e ciências

Orientador: Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges

Belo Horizonte

Faculdade de Educação da UFMG

2009

FOLHA DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que me apoiaram e me encorajaram durante toda a vida.

À minha irmã pela amizade e apoio incondicional.

Ao meu orientador Tarciso, sempre disponível para os ensinamentos e conselhos que me proporcionaram a oportunidade de desenvolver esta pesquisa com total liberdade de expressão e de pensamento. A realização desta pesquisa somente foi possível com o apoio de suas idéias e intervenções.

Agradeço aos membros do grupo INOVAR pelas discussões amigáveis, pelo ambiente de convívio, propício para o desenvolvimento pessoal e profissional de todos.

À galera de Hamburgo que, mesmo longe, sempre me apoiou e incentivou. Em especial ao Haroldo pela companhia e amizade na etapa final do doutorado.

À Flávia, pelo carinho e incentivo ao longo de boa parte do doutorado.

Aos amigos Fernando, Karine, Flaviana, Daniel, Fabiana, Bruno, Tiago, Mário, Frederico, Fernanda, Matheus, Marcão, Breno pela amizade sincera e verdadeira.

Aos amigos Marcus e Lorena, não apenas pela amizade, mas pela revisão cuidadosa e competente do texto final da tese.

Ao Toninho e ao Lacerda pela ajuda valiosa na digitação dos dados dos questionários.

Aos diversos amigos e colegas que escutaram várias vezes a frase: “hoje não vai dar, estou agarrado com o doutorado” e compreenderam minhas ausências.

Aos alunos, professores e direção da Fundação Torino e da Faculdade Pitágoras pela amizade, incentivo e compreensão ao longo de todo o doutorado.

Agradeço à banca examinadora pelas sugestões e orientações.

Quero manifestar minha especial gratidão aos alunos do 1º ano do ensino médio do Coltec de 2006 que participaram desta pesquisa, realizando todas as atividades sempre com a intenção de ajudar e contribuir.

A todos os que se fizeram presentes, familiares, colegas, meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

Essa tese retoma a discussão sobre as atividades práticas realizadas no laboratório escolar e o que os estudantes podem aprender ao realizá-las. Propomos que conhecimento procedimental mobilizado pelos estudantes durante a realização de uma atividade prática seja composto por habilidades manuais e técnicas práticas, além de diversos conceitos que influenciam suas ações. Esses ‘conceitos de evidência’ referem-se aos conceitos, raciocínios e habilidades necessárias para, além de se coletar dados confiáveis e válidos, organizá-los, tratá-los e interpretá-los apropriadamente para serem utilizados na avaliação de evidências, hipóteses e explicações. O objetivo desse trabalho é compreender como se desenvolve a compreensão dos estudantes sobre o processo de experimentação e suas habilidades em resolver problemas práticos. Também estamos interessados em identificar como o pensamento epistemológico e a compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico se desenvolvem ao longo de um ano letivo no qual serão desenvolvidas atividades específicas, integralizadas ao currículo normal de Física.

Participaram da pesquisa 250 alunos do 1º ano do ensino médio de uma escola pública federal. Este estudo foi desenhado utilizando-se a estratégia do pré/pós-teste e acompanhamento de várias atividades. Vários instrumentos de lápis e papel foram desenvolvidos e aplicados nas semanas iniciais do ano letivo. Tais instrumentos eram compostos por questionários com questões abertas e fechadas, questionário tipo Likert e testes específicos. As atividades de duas turmas foram acompanhadas, com registro em vídeo das atividades práticas realizadas por grupos de estudantes. Alguns estudantes foram entrevistados individualmente e outros em grupo.

Podemos afirmar que, de forma geral, as atividades desenvolvidas contribuíram para o desenvolvimento de uma compreensão mais sofisticada dos conceitos de evidências, pois, em toda a análise, o desempenho dos estudantes no pós-teste foi superior ao do pré-teste, embora em alguns itens analisados as diferenças não fossem estatisticamente significantes. Porém, poucas modificações puderam ser identificadas entre o pré e o pós-teste sobre as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência.

Com base nesses e nos demais resultados obtidos, discutimos as implicações educacionais da pesquisa para o ensino de ciências e apontamos novas possibilidades de pesquisa na área.

ABSTRACT

This thesis reviews the discussions about practical work and what students can learn by engaging in doing practical activities. A model for the kinds of knowledge students have to learn and mobilize in order to conduct laboratory work successfully is presented and used to assess students' learning from lab work along a full school year. According to this model, procedural knowledge mobilized by students while conducting practical work is best conceived as composed of skills and techniques, and conceptual knowledge that affect their actions and thinking. The 'concepts of evidence' refer either to conceptual knowledge needed to gather reliable and valid data, or to organize the information collected and interpret them properly to be assess the quality of evidence, to test hypothesis and explanations.

The main aim of this work is to understand how students' understanding about the process of experimentation develops, as well as their practical problem solving skills. We are also interested in identify how students' epistemological knowledge and understanding of aspects related to the nature of science change along their first year of studying physics as a separate subject in secondary school. This is the first time that students have systematic laboratory activities.

250 students from the first year of a Brazilian Federal Middle School, corresponding to year 9 of compulsory education, took part in the study. A set of written tests were answered in the third and fourth weeks of the course, and repeated at the end of the school year. Besides that, several practical activities of two classes were observed and video-recorded. A small part of the students was interviewed either individually or in small groups.

Based on the analyses conducted we argue that the engagement of students in practical activities contributed to promote their development of more sophisticated understandings of the concepts of evidence. In fact, in general, students showed better achievement in the post-tests, although in a limited number of specific tests statistical significance was reached. Concerning the understanding of aspects of the nature of science, changes were limited and modest, a result not surprising taking into account the vast research literature about the theme, and for the fact that it was not a main purpose of the physics course. Based on these results, we discuss the implications for the teaching and the research on physics and science education.

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – A aprendizagem esperada com a atividade.....	99
Tabela 5.2 – O que se espera que os estudantes façam.....	101
Tabela 5.3 – O que se espera que os estudantes façam com as idéias	102
Tabela 5.4 – Grau de abertura das atividades	103
Tabela 5.5 – Grau de envolvimento dos estudantes.....	104
Tabela 6.1 – Comparação dos resultados nos testes – Experimento 1.....	139
Tabela 6.2 – Comparação dos resultados nos testes – Experimento 2.....	140
Tabela 6.3 – Comparação dos resultados nos testes – Experimento 3.....	141
Tabela 6.4 – Comparação dos resultados nos testes – Experimento 4.....	141
Tabela 6.5 – Comparação dos resultados nos testes – Experimento 5.....	142
Tabela 6.6 – Comparação dos resultados nos testes – Robustez	144
Tabela 6.7 – Comparação dos resultados nos testes – Categorias C1 + C2.....	145
Tabela 6.8 – Melhora no desempenho dos estudantes nos experimentos	145
Tabela 6.9 – Matriz de correlação entre os itens do instrumento	147
Tabela 6.10 – Comparação entre os testes – Questão 2 (i)	149
Tabela 6.11 – Comparação entre os testes – Justificativas Questão 2 (i)	150
Tabela 6.12 – Comparação entre os testes – Questão 2 (ii).....	151
Tabela 6.13 – Comparação entre os testes – Questão 2 (ii).....	151
Tabela 6.14 – Matriz de correlação entre os itens do instrumento	152
Tabela 6.15 – Comparação dos resultados dos testes – Tamanho da amostra.....	156
Tabela 6.16 – Categorização das respostas dos estudantes de acordo com o comentário	159
Tabela 6.17 – Comparação dos resultados dos testes – Resultados diversos	167
Tabela 6.18 – Relação entre o tamanho da amostra e a irreprodutibilidade dos dados	168
Tabela 6.19 – Categorização das respostas dos estudantes.....	170
Tabela 6.20 – Comparação dos resultados dos testes – Média.....	176
Tabela 6.21 – Comparação dos resultados dos testes – Dispersão dos dados	179
Tabela 6.22 – Comparação dos resultados dos testes – Dispersão dos dados	181
Tabela 6.23 – Relação entre as opções dos estudantes nas duas questões.....	182
Tabela 6.24 – Comparação dos resultados dos testes – Causalidade.....	183
Tabela 6.25 – Comparação dos resultados dos testes – Causalidade.....	184
Tabela 6.26 – Relação entre os comentários escolhidos e o tipo de justificativa fornecida	185
Tabela 6.27 – Distribuição das respostas dos estudantes de acordo com a categorização criada.....	190
Tabela 6.28 - Estratégias utilizadas para traçar a reta no gráfico.	191
Tabela 6.29 – Ocorrência das estratégias para resolução do item (ii).....	193
Tabela 6.30 – Desempenho dos estudantes na representação dos eixos do gráfico.....	198
Tabela 6.31 – Resultados dos estudantes na representação da escala do gráfico.	201
Tabela 6.32 – Comparação das ações dos estudantes nos testes.....	204

Tabela 6.33 – Comparação dos resultados dos estudantes entre os testes – Construção gráfica.....	205
Tabela 6.34 – Comparação dos resultados dos estudantes nos testes – Interpolação	206
Tabela 7.1 – Condições psicométricas mínimas adotadas	217
Tabela 7.2 – Aspectos da natureza da ciência identificados na análise fatorial.....	218
Tabela 7.3 – Extração dos fatores – Ciência como verdade absoluta	219
Tabela 7.4 – Cargas fatoriais e comunalidades – Ciência como verdade absoluta.....	219
Tabela 7.5 – Matriz de correlação – Ciência como verdade absoluta.....	220
Tabela 7.6 – Estatística descritiva – Ciência como verdade absoluta.....	220
Tabela 7.7 – Extração dos fatores – Processo de experimentação.....	222
Tabela 7.8 – Cargas fatoriais e comunalidades – Processo de experimentação.....	222
Tabela 7.9 – Matriz de correlações – Processo de experimentação.....	222
Tabela 7.10 – Estatística descritiva – Processo de experimentação	223
Tabela 7.11 – Extração dos fatores – Teoria e experimentação	224
Tabela 7.12 – Cargas fatoriais e comunalidades – Teoria e experimentação	224
Tabela 7.13 – Correlações – Teoria e experimentação	225
Tabela 7.14 – Estatística descritiva – Teoria e experimentação	225
Tabela 7.15 – Comparação entre os testes – Ciência.....	237
Tabela 7.16 – Frequência dos níveis – Experimentação.....	241

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Níveis de classificação das atividades investigativas segundo Tamir (1991).....	26
Quadro 2.2 – Classificação das atividades práticas segundo Borges (2002).....	27
Quadro 3.1 – Os conceitos de evidência.....	47
Quadro 3.2 – Competência evidenciária.....	52
Quadro 3.3 – Níveis de compreensão do processo de medição segundo Lubben e Millar (1996)	60
Quadro 3.4 – Caracterização dos pensamentos por ponto e conjunto	70
Quadro 3.5 – As ações e os pensamentos dos indivíduos segundo os paradigmas ponto e conjunto.	70
Quadro 4.1 – Principais aspectos relacionados à natureza da ciência	78
Quadro 5.1 – As dimensões principais das atividades práticas	98
Quadro 5.2 – Contexto prático da atividade	105
Quadro 5.3 – Seqüência de apresentação dos instrumentos	110
Quadro 5.4 – Características do problema abordado no teste.....	111
Quadro 5.5 – Questionário fechado sobre a natureza da ciência	129
Quadro 5.6 – Questionário aberto sobre a natureza da ciência.....	130
Quadro 5.7 – Informações sobre a aplicação dos instrumentos da pesquisa	131
Quadro 6.1 – Seqüência de análise dos dados	135
Quadro 6.2 – Sistema de categorização das justificativas	136
Quadro 6.4 – Categorização das respostas dos estudantes	188
Quadro 6.5 – Categorização das estratégias utilizadas pelos estudantes	192

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Etapas do processo de resolução de uma atividade prática segundo Borges (2002)	43
Figura 3.2 – As habilidades práticas segundo Millar (1991).	44
Figura 3.3 – Processo de resolução de problemas e interação entre conhecimentos	46
Figura 3.4 – Modelo para o conhecimento procedimental mobilizado pelo indivíduo.....	48
Figura 3.5 – Interação entre conhecimentos procedimentais e conceituais	48
Figura 3.6 – A influência do conhecimento procedimental e da visão da ciência no processo de resolução de problemas	51
Figura 4.1 – As áreas e disciplinas que compõem a natureza da ciência.....	77
Figura 5.1 – A eficiência das atividades práticas	93
Figura 5.2 – Representação dos esquemas experimentais utilizados.....	112
Figura 5.3 – Questão sobre testes adequados e consistentes	114
Figura 5.4 – Questão sobre o tamanho da amostra, reprodutibilidade e confiabilidade	115
Figura 5.5 – Questão sobre o valor mais representativo de um conjunto de dados	117
Figura 5.6 – Questão sobre a validade e confiabilidade dos dados	118
Figura 5.7 – Questão sobre a validade e confiabilidade dos dados	119
Figura 5.8 – Questão sobre construção e interpretação gráfica	120
Figura 5.9 – Questão sobre construção e interpretação gráfica	121
Figura 5.10 – As atividades desenvolvidas e os momentos de coleta de dados.....	133
Figura 6.1 – Exemplos de tabelas construídas pelos estudantes nos relatórios.	195
Figura 6.2 – Exemplos de gráficos construídos com a inversão dos eixos.....	198
Figura 6.3 – Exemplos de gráficos construídos com a inversão dos eixos.....	199
Figura 6.4 – Exemplo de gráfico com escala incorreta.....	200
Figura 6.5 – Exemplos de gráficos com escala inadequada.....	200
Figura 6.6 – Gráfico no qual o estudante não traçou a reta.	202
Figura 6.7 – Gráfico no qual o estudante ligou os pontos através de seguimentos de reta	202
Figura 6.8 – Gráficos nos quais os estudantes traçaram a reta que mais se ajusta nos dados.....	203
Figura 6.9 – Exemplos de gráficos de barra construídos pelos estudantes.	204
Figura 6.10 – Tela principal do applet utilizado na simulação	208
Figura 6.11 – Histograma da distribuição da frequência dos experimentos.	209
Figura 6.12 – Gráfica correto construída por um dos participantes.....	211
Figura 6.13 – Gráfico incorreto construído por um dos participantes	212
Figura 7.1 – Frequência dos níveis – Ciência	236
Figura 7.2 – Frequência dos níveis – Experimentação	241
Figura 7.3 – Percentagem dos objetivos identificados	244

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Contextualização do objeto de estudo no campo da educação em ciências	17
1.2	Estrutura da apresentação da pesquisa.....	22
2	Atividades práticas e investigação.....	24
2.1	Atividades práticas: breve histórico e problemas atuais.....	24
2.2	Atividades investigativas	29
3	Conhecimento procedimental e conceitos de evidência	33
3.1	Os conhecimentos envolvidos durante uma atividade investigativa.....	33
3.1.1	O conhecimento conceitual.....	37
3.1.2	O conhecimento procedimental.....	39
3.1.2.1	O processo de experimentação e produção de evidências	39
3.1.2.2	O processo de análise de evidências.....	40
3.1.3	O modelo SDDS: o reconhecimento da integração entre os conhecimentos.....	40
3.1.4	Conhecimento procedimental: habilidades ou conceitos?.....	42
3.2	Os conceitos de evidência	52
3.2.1	Conceitos relacionados ao planejamento: tamanho da amostra	54
3.2.2	Conceito relacionado ao planejamento: testes adequados e consistentes.....	56
3.2.3	Conceito relacionado ao processo de medição: a reprodutibilidade dos dados experimentais.....	58
3.2.4	Conceitos relacionados à construção e interpretação de gráficos e tabelas.....	61
3.2.4.1	Interpretação gráfica.....	63
3.2.4.2	Construção gráfica	63
3.2.5	Conceitos relacionados à avaliação da atividade: validade e confiabilidade.....	65
4	Natureza da ciência	72
4.1	A natureza da ciência	72
4.2	As concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência	79
4.3	Epistemologia da ciência: a influência das crenças epistemológicas na aprendizagem dos estudantes	83
5	Considerações Metodológicas	91
5.1	Questões de pesquisa	91
5.2	As atividades desenvolvidas	96
5.2.1	Dimensão A: a aprendizagem esperada com a atividade.....	98
5.2.2	Dimensão B: o que se espera que os estudantes façam.....	100
5.2.2.1	Subdimensão B1: o que se espera que os estudantes façam com os objetos e observáveis.....	100
5.2.2.2	Subdimensão B2: o que se espera que os estudantes façam com as idéias	101
5.2.3	Dimensão C – Grau de abertura e natureza do envolvimento dos estudantes.....	102
5.2.3.1	Subdimensão C1: grau de abertura da atividade	103
5.2.3.2	Subdimensão C2: natureza do envolvimento dos estudantes	104

5.2.4 Dimensão D – Contexto prático da atividade.....	104
5.3 Metodologia da pesquisa	105
5.3.1 Sujeitos da pesquisa.....	108
5.3.2 Instrumentos de pesquisa.....	109
5.3.2.1 – Instrumentos para avaliação dos conceitos de evidência.....	110
5.3.2.1.1 Conceito de evidência: testes adequados e consistentes	111
5.3.2.1.2 Conceito de evidência: tamanho da amostra.....	114
5.3.2.1.3 Conceito de evidência: reprodutibilidade dos dados	116
5.3.2.1.4 Conceito de evidência: validade e Confiabilidade.....	117
5.3.2.1.5 Conceito de evidência: gráficos e tabelas	120
5.3.2.1.6 Caderno de relatórios.....	121
5.3.2.1.7 Atividade investigativa	122
5.3.2.2 – Instrumentos para avaliação das concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência.....	123
5.3.2.2.1 – Questionário fechado sobre a natureza da ciência	127
5.3.2.2.2 – Questionário aberto sobre a natureza da ciência.....	130
5.3.3 Procedimentos.....	131
6 Análise dos dados I – Conceitos de Evidência.....	134
6.1 Conceito de evidência: testes adequados e consistentes.....	135
6.1.1 Teste de reconhecimento de testes adequados e consistentes.....	135
6.1.1.1 Análise dos experimentos.....	138
6.1.1.1.1 Experimento 1	139
6.1.1.1.2 Experimento 2	139
6.1.1.1.3 Experimento 3	140
6.1.1.1.4 Experimento 4	141
6.1.1.1.5 Experimento 5	142
6.1.1.2 Comparações entre os testes.....	144
6.1.1.3 Construção do escore sobre reconhecimento de testes adequados e consistentes	147
6.1.2 Questão sobre controle de variáveis.....	148
6.2 Conceito de evidência: tamanho da amostra	155
6.3 Conceito de evidência: reprodutibilidade dos dados	166
6.3.1 Razões para obtenção de resultados diversos.....	166
6.4 Conceitos de evidência: validade e confiabilidade	174
6.4.1 Média: representação de um conjunto de dados.....	174
6.4.2 Qualidade dos dados: dispersão dos dados.....	178
6.4.3 Variações experimentais ou relação de causalidade?.....	183
6.4.4 Cuidados experimentais.....	188
6.5 Conceitos de evidência: gráficos e tabelas	191
6.5.1 Traçando a melhor reta.....	191
6.5.2 Construção do gráfico a partir de dados tabelados.....	194
6.5.2.1 Representação dos eixos.....	197

6.5.2.2 Escala	199
6.5.2.3 Localização dos pontos	201
6.5.2.4 Linha do gráfico	202
6.5.3 Representação gráfica.....	204
6.1.5.4 Interpolação e extrapolação.....	206
6.2 Atividade investigativa	207
6.2.1 Número de experimentos realizados.....	208
6.2.2 Utilização de tabela.....	209
6.2.3 Controle de variáveis.....	209
6.2.4 Construção gráfica.....	210
6.2.5 Respostas às questões.....	213
7 Análise dos dados II – Visão da ciência	215
7.1 Análise do questionário fechado sobre a natureza da ciência	216
7.1.1 Análise dos grupos e construção das escalas.....	218
7.1.1.1 A ciência como verdade absoluta	218
7.1.1.2 Relação entre teoria e evidência.....	221
7.1.1.2.1 O processo de experimentação	221
7.1.1.2.2 Influência da teoria sobre a experimentação.....	223
7.1.2 Análise qualitativa dos itens do questionário.....	226
7.2 Análise do questionário aberto sobre a natureza da ciência	234
7.2.1 Visão sobre a ciência e seus objetivos.....	234
7.2.2 Visão do processo de experimentação.....	238
7.2.3 A experimentação no ensino de ciências.....	242
8 Resultados e implicações	249
8.1 Principais resultados e conclusões	249
8.1.1 – Questões 1 e 3 – Conceitos de evidência.....	250
8.1.2 – Questões 2 e 3 – Natureza da ciência.....	257
8.2 Implicações educacionais	260
8.3 Novas questões de pesquisa.....	269
9 Referências Bibliográficas.....	274
10 Anexos.....	295
Anexo A	295
Anexo B.....	296
Anexo C	297
Anexo D	298
Anexo E.....	299
Anexo F	300

1 INTRODUÇÃO

Os últimos anos se caracterizaram por um interesse cada vez maior de diversos países pela retomada da discussão das metas curriculares. Tal questão foi motivada por uma insatisfação generalizada com os currículos então vigentes e pela rápida disseminação de novas tecnologias que vem modificando nossa vida em vários aspectos fundamentais.

Em grande parte dos países, a pesquisa em educação em ciências e as propostas curriculares têm destacado a meta curricular de promoção da compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência e da investigação científica. Propõem a oferta de um ensino de ciências mais significativo, aproximando-o da prática científica, além de preparar os estudantes para a cidadania e para lidar com as incertezas de um mundo em rápido processo de mudança (Hodson, 1988; Bybee e DeBoer, 1994; Millar, 1996; Flick e Lederman, 2006).

As novas diretrizes curriculares contrapõem-se à ênfase tradicional do ensino de ciências na abordagem exclusiva de conteúdos científicos, ou seja, produtos da atividade científica. Essa ênfase contribui para tornar o ensino de ciências dogmático e pouco comprometido com a promoção do desenvolvimento intelectual e moral dos aprendizes. Ao invés de proporcionar aos estudantes oportunidades para vivenciar os processos de construção de conhecimentos e de iniciação ao fazer científico, o ensino que ainda predomina na maioria das escolas privilegia a aprendizagem superficial de leis, conceitos, definições e fórmulas. Esse ensino pouco contribui para promover o reconhecimento e a apreciação da importância da ciência como parte da cultura, bem como compreender e valorizar as idéias e os raciocínios desenvolvidos ao longo da história da humanidade para compreender e explicar o mundo. Dessa forma, acaba por reduzir a ciência a uma simples coleção de 'fatos', frutos de mentes geniais, mas definitivos e imutáveis.

Essa tese desenvolveu-se dentro de um programa de pesquisa que busca desenvolver um currículo de ciências relevante, baseado em modelos, no qual investigações são consideradas atividades importantes.

Desde 1998, nos envolvemos com essas questões por meio deste programa de pesquisa, cujo objetivo central é o desenvolvimento de atividades curriculares de ciências e, em particular, de física que contribuam para tornar mais científicos o pensar dos estudantes (Borges e Borges, 2001). Assim, procuramos conceber propostas curriculares, desenvolver

meios, recursos e materiais para sua implementação e disseminar propostas e instrumentos desenvolvidos nos ambientes escolares reais. Isto exige intervenções nos próprios ambientes educacionais orientadas pelo objetivo de revigorar o ensino de ciências.

Educadores defendem que a educação em ciências deve envolver não somente o desenvolvimento de conhecimentos amplos e abstratos, mas também conhecimentos práticos e contextualizados para a formação de uma cultura científica efetiva (AAAS, 1990; Millar, 1991). Além disso, dois dos principais objetivos reconhecidos na literatura são as aprendizagens sobre a natureza da ciência e sobre o processo de investigação científica (Bybee e DeBoer, 1994; Flick e Lederman, 2006). Dentre as habilidades e competências que devem ser estimuladas e trabalhadas, destacam-se as seguintes:

- obter informações científicas por meio de atividades de laboratório;
- fazer perguntas científicas apropriadas e reconhecer o que está envolvido ao respondê-las no laboratório através de experimentos e observações;
- organizar, comunicar, interpretar e analisar os dados e observações, obtidos através da experimentação;
- obter conclusões ou realizar inferências a partir dos dados, observações e experimentação;
- reconhecer o papel e as limitações dos experimentos e das observações no desenvolvimento da ciência.

Uma das formas de se obter tal ensino é a criação de um ambiente que propicie

“o desenvolvimento de uma atitude investigativa, crítica e criativa frente ao novo, visando construir um entendimento de novas situações e fenômenos com os quais nos defrontamos a todo o momento.” (Borges, Borges e Vaz, 2001, p. 2).

O laboratório de ciências pode tornar-se, dessa forma, um componente importante para facilitar a criação de tal ambiente. Porém, a forma como as atividades práticas atuais estão estruturadas contribuem muito pouco para isso. Diversos autores têm discutido os problemas e as limitações das atividades práticas tradicionais que, ao projetar uma visão distorcida da natureza do fazer científico, colaboram pouco para a aprendizagem de conceitos e para despertar vocações científicas, carecendo de um valor educativo real (Hodson, 1993; Barberá e Valdes, 1996; White, 1996; Borges, Borges, Silva e Gomes, 2001; Borges, 2002). Sobre a questão, Chinn e Malhotra (2002) apontam que as atividades propostas nos livros textos de

ciências falham em capturar aspectos importantes dos processos cognitivos da ciência autêntica, assumindo uma epistemologia que é completamente contrária à epistemologia da ciência real. Segundo os autores, o raciocínio durante as atividades práticas é algorítmico, com os estudantes obtendo conclusões óbvias de experimentos e observações simples.

Na maioria das vezes, portanto, não se promove o entendimento de como planejar e executar as atividades, como interpretar e avaliar os resultados obtidos e como julgar a qualidade das afirmações derivadas desses resultados.

A partir disso, pesquisadores e educadores vêm pensando maneiras de dar novo sentido às atividades de laboratório, recomendando uma reorientação dos trabalhos práticos e priorizando a substituição das atividades tradicionais por atividades mais abertas, de natureza investigativa. Segundo várias pesquisas, o planejamento e a execução de investigações podem contribuir para que o estudante estabeleça conexões entre a natureza da ciência e seus conceitos, bem como os procedimentos e as atitudes da atividade científica, visando possibilitar não apenas a compreensão conceitual, mas também o entendimento dos estudantes sobre os aspectos particulares do fazer científico (Osborne, 1998; Hodson, 1988, 1993).

O principal foco dessa pesquisa dirige-se, então, para as aprendizagens que podem resultar da participação dos estudantes em atividades práticas com graus variados de abertura e especificação (Borges, 2002) em um ambiente implementado no laboratório escolar. Deseja-se estudar como os estudantes tratam questões fundamentais como qual o objetivo da experimentação, o que podemos fazer para obter dados confiáveis e de qualidade acerca do problema em questão, como tratar e analisar os dados obtidos, o que se pode afirmar sobre o problema tratado ao se alcançar uma solução e que confiança pode-se ter sobre essas afirmações. Além disso, pretende-se determinar como se desenvolve a compreensão dos estudantes ao longo de suas trajetórias de aprendizagem num ambiente que privilegie a experimentação. Assim, não se está interessado apenas no processo de resolução de problemas, mas em como determinadas habilidades e conceitos mobilizados pelos estudantes em situações reais de ensino evoluem a partir da utilização de atividades práticas diversas, desenvolvidas ao longo de um ano letivo.

No referencial que iremos apresentar, o conhecimento procedimental desenvolvido no laboratório escolar possui uma dimensão fortemente conceitual, a qual chamamos de ‘conceitos de evidência’. Esses conceitos estão relacionados ao controle de variáveis, à reprodutibilidade de um experimento, ao tamanho de uma amostra, ao tratamento e representação das medidas, ou seja, conceitos subjacentes ao processo de produção e interpretação de evidências em uma atividade prática.

1.1 Contextualização do objeto de estudo no campo da educação em ciências

Atividades práticas, geralmente desenvolvidas em laboratórios são, desde a década de 1960, um instrumento de ensino padrão dos currículos em diversos países. Porém, apesar de sua ampla utilização, o seu papel no ensino de ciências ainda não é claro. Alguns pesquisadores questionam a eficiência das atividades laboratoriais tradicionais, argumentando que, além de não serem próprias para se atingir todos os objetivos a elas atribuídos, transmitem aos estudantes uma visão equivocada sobre a natureza da ciência e sobre a produção do conhecimento científico (Hodson, 1988; Tamir, 1991). Sob a influência de um ensino baseado apenas na transmissão dos conhecimentos, os trabalhos práticos adquiriram um papel de simples ilustrações e se limitam, na maioria das vezes, à manipulações de equipamentos, seguindo receitas descritas em detalhes nos manuais e folhas de atividade.

O emprego contínuo de atividades que se limitam a ilustrar algum fenômeno ou permitem que os estudantes sigam rigorosamente um roteiro para testar uma hipótese, acabam por transmitir ao aluno uma visão simplista do processo científico: a empirista-indutivista, levando-o a acreditar que o conhecimento origina-se diretamente da observação e da experimentação.

Uma das preocupações legítimas das reformas curriculares atuais é justamente o planejamento de um currículo que trate da natureza da ciência de maneira explícita e que represente a atividade científica da forma mais válida do ponto de vista filosófico e epistemológico. Desta forma, a ciência pode ser compreendida como uma atividade social, complexa e dinâmica, que não pode ser reduzida a uma série de regras e etapas específicas a serem cumpridas.

Para Gil Pérez e colaboradores (2001), é preciso evitar qualquer deturpação e simplificação na interpretação do trabalho científico. Os esforços e ações para o estabelecimento do que se deve entender por uma visão aceitável do processo de construção do conhecimento científico devem ocorrer em duas frentes: procurar estabelecer um consenso sobre o que deveria ser evitado e procurar identificar algumas características gerais do trabalho científico e o que há de comum entre as diferentes perspectivas e teses epistemológicas.

A intenção é aproximar o aprendizado de ciências do processo de construção de conhecimentos científicos tal como o entendemos hoje (Kuhn, 1998; Latour, 1998). Além

disso, há um consenso, de que os estudantes devem aprender o que constitui uma evidência e como avaliar os dados e informações disponíveis, inclusive nos primeiros anos do ensino fundamental.

A resolução de problemas práticos abertos, organizados como investigações, torna-se, nessa perspectiva, uma estratégia de ensino-aprendizagem valiosa, com o potencial de guiar os estudantes ao longo do processo de tornar mais científico o seu mundo (Lijnse, 1995).

Segundo Borges (2002), as atividades investigativas envolvem a resolução de problemas práticos abertos sobre os quais os estudantes não possuem, de antemão, um roteiro ou uma resposta conhecida por eles. Como podem ter mais de uma solução, os estudantes são desafiados a solucioná-los com seus próprios recursos. Para Kuhn, Black, Keselman e Kaplan (2000), investigações são atividades educacionais nas quais os estudantes, individualmente ou em grupo, investigam um conjunto de fenômenos reais ou virtuais, e, a partir da realização de experimentos, propõem conclusões e inferências.

“Um argumento mais sofisticado para o valor das atividades práticas é que uma compreensão da ciência e de sua natureza só pode ser desenvolvida permitindo aos estudantes experimentar o processo da pesquisa científica. Apenas uma exposição à investigação de problemas reais fornecerá a oportunidade para os estudantes de compreender a natureza dos fundamentos epistemológicos da ciência e suas contribuições para o conhecimento humano.” (Osborne, 1998, p. 161).

De acordo com Leach (1998), é impossível que as atividades desenvolvidas no laboratório escolar modelem todas as práticas da ciência profissional. Apesar de não ser esse o maior objetivo do laboratório. Mas, alguns aspectos da prática dos cientistas podem ser perfeitamente introduzidas e desenvolvidas neste ambiente de ensino/aprendizagem.

Os próprios princípios que regem a educação básica brasileira, os PCNs (Brasil, 1999), incentivam as escolas, de forma explícita, a introduzir em seus currículos metodologias de ensino que estimulem o raciocínio, a experimentação e a solução de problemas, além de uma série de competências e habilidades cognitivas relacionadas à investigação. Sendo assim, o ensino de ciências deve contribuir para o desenvolvimento, entre outras capacidades, da de identificar questões e problemas a serem resolvidos; de observar, classificar e identificar fenômenos; de relacionar grandezas e parâmetros relevantes, de construir explicações e investigar problemas utilizando modelos físicos.

Nesse contexto, acreditamos que os estudantes precisam compreender a idéia de utilizar evidências empíricas para sustentar suas próprias conclusões. Parte desse processo

consiste em compreender que a qualidade das evidências depende da qualidade dos dados obtidos e dos procedimentos utilizados. Os estudantes também devem entender como podemos melhorar a qualidade dos dados por meio de estratégias que aumentem a sua validade e a sua confiabilidade.

Embora a utilização do laboratório seja ressaltada tão enfaticamente por professores e educadores como fundamental para o ensino de ciências, há na literatura poucas informações sobre a natureza das dificuldades enfrentadas pelos estudantes em decorrência de sua interação com os elementos característicos desse ambiente de aprendizagem. São raras as pesquisas sobre o que os estudantes sabem sobre os conceitos de evidência e outras habilidades relativas ao processo de experimentação. O desconhecimento desses conceitos e habilidades pode comprometer seriamente a validade e a qualidade das afirmações sobre o problema que estão investigando. Devido a essa escassez de pesquisas na área, ainda sabe-se pouco sobre o que os alunos realmente aprendem no laboratório e o seu entendimento acerca desses conceitos, cruciais para a obtenção de uma solução satisfatória de um problema prático. Mais raras ainda são as pesquisas que têm como contexto situações reais em sala de aula ou laboratório.

Em alguns trabalhos, Leach (1998; 1999; 2002) também resalta que, hoje, um dos principais objetivos da educação em ciências é ensinar nossos estudantes sobre a natureza e funcionamento da ciência e fornecer a eles condições de conduzirem investigações nas quais terão de tomar decisões sobre o processo de coleta, análise e apresentação dos dados. Também nesse sentido, poucas pesquisas foram conduzidas visando desenvolver currículos viáveis.

Alguns membros do grupo Inovar pesquisaram justamente as habilidades e os conhecimentos que os estudantes mobilizam durante o planejamento e a realização de atividades em laboratório (Borges e Rodrigues, 2003; Borges, Borges e Vaz, 2001; Borges, Borges, Silva e Gomes, 2001, 2002; Gomes e Borges, 2002, 2003, Gomes, 2005). Os resultados desses trabalhos indicam que parte dos alunos do ensino médio, mesmo tendo aulas de laboratório semanalmente, ainda possuem muitas dificuldades em reconhecer os objetivos das atividades (mesmo quando explicitamente afirmado), em planejar e executar uma atividade prática que vise objetivos estabelecidos, em definir as variáveis importantes para solucionar o problema, em reconhecer e aplicar estratégias de controle de variáveis eficientes e em analisar os dados e inferir deles conclusões fundamentadas.

Apesar do envolvimento dos estudantes em atividades dessa natureza ser defendido por muitos como uma estratégia para se alcançar os objetivos educacionais atualmente

propostos, uma investigação bem sucedida requer que os estudantes aprendam uma gama de novos e complexos conceitos relacionados com a experimentação e a análise de evidências (Leach e Paulsen, 1999; Minstrell e van Zee, 2000; NRC, 2000; Borges, 2002; Psillos e Niedderer, 2002).

Assim, para planejar e executar satisfatoriamente uma atividade prática, o indivíduo precisa compreender suas ações durante a atividade. Se esse conhecimento procedimental não existe ou é pouco desenvolvido, a capacidade do indivíduo para executar satisfatoriamente uma atividade prática será prejudicada.

Ainda não há meios reconhecidos e estabelecidos para avaliar o desempenho dos estudantes ao conduzirem atividades práticas. Enquanto diversas pesquisas foram e são realizadas sobre a compreensão conceitual dos estudantes sobre os diversos campos da ciência, poucos trabalhos foram dedicados à compreensão dos estudantes sobre a natureza do trabalho científico. Segundo Millar (1998), um dos motivos para isso, não é difícil de perceber: há uma concordância geral entre a comunidade científica sobre os principais conceitos e idéias que são trabalhados no ensino de ciências como velocidade, força, campo elétrico, temperatura etc. Porém, a concordância é mais fraca entre os filósofos da ciência sobre a existência de um suposto ‘método científico’ e, se possível, como o trabalho científico pode ser caracterizado. Não há uma visão única e estabelecida da atividade científica que receba todo o respaldo das áreas da filosofia, história e sociologia da ciência (Smith e Scharmann, 1999). Além disso, cada vez mais, a ciência é encarada como uma atividade dinâmica e multifacetada, com características peculiares em cada área do conhecimento.

Portanto, ao se tratar do conhecimento procedimental envolvido no processo de investigação, essa falta de consenso contribui para que não se saiba ao certo que perguntas devem ser respondidas, quais comportamentos, atitudes e conhecimentos devem ser observados e avaliados nos estudantes, nem qual a natureza das habilidades ou competências dos estudantes e quais delas devem ser desenvolvidas.

O conhecimento procedimental mobilizado pelos estudantes durante a realização de atividades práticas, antes concebido como sendo composto por técnicas práticas, destrezas manuais e habilidades operacionais gerais transferíveis entre contextos, passou a ser considerado, na última década, como composto e influenciado por conceitos e idéias, sobretudo relacionadas à produção e avaliação de evidências (Millar e colaboradores, 1994; Gott e Duggan, 1995). Esses ‘conceitos de evidência’ referem-se aos conceitos, raciocínios e habilidades necessárias para, além de se coletar dados confiáveis e válidos, organizá-los, tratá-

los e interpretá-los apropriadamente de tal forma que possam ser utilizados na avaliação de evidências, hipóteses e explicações.

Vários pesquisadores reportam em suas pesquisas os resultados sobre as concepções dos estudantes quanto a natureza da ciência e a construção do conhecimento científico (Lederman, 1992; Driver e colaboradores, 1996; McComas, 1998), e ainda, quanto aos conceitos de evidência relacionados com o processo de experimentação (Millar e colaboradores, 1994; Gomes, 2005; Jeong, Songer, e Lee, 2007). Nessas pesquisas, o resultado é de que os estudantes, em todos os níveis de ensino, sobretudo os mais jovens, possuem grandes dificuldades e concepções ingênuas em relação a todos os aspectos da atividade científica. Burbules e Linn (1991) argumentam que o ambiente tradicional das aulas de ciências fornece uma representação imprecisa da natureza da ciência e de como o conhecimento científico é gerado. Numa aula de ciência tradicional, os estudantes têm a oportunidade de examinar superficialmente as idéias científicas, mas não possuem oportunidades para construir uma compreensão adequada dessas idéias. Segundo Aikenhead,

“raramente é solicitado aos estudantes que expressem suas compreensões sobre o objetivo da ciência, sua epistemologia, suas táticas, seus valores, suas funções institucionais, suas interações com a sociedade e suas necessidades humanas (isto é, ‘conhecimento sobre ciência e cientistas’). Apesar desse conhecimento ser atualmente aceito como o maior objetivo da educação em ciência, os estudantes e as experiências educacionais são raramente avaliados com respeito a esse tipo de aprendizagem.” (Aikenhead, 1973, p. 540).

O desenvolvimento de um referencial teórico que caracterizasse a atividade de investigação científica pode proporcionar meios de se compreender melhor as ações e atitudes dos alunos durante a realização das atividades práticas, além de identificar os conhecimentos epistemológicos por eles mobilizados durante tais atividades. Somente a partir disso seria possível desenvolver instrumentos e metodologias válidas para avaliar o desempenho dos estudantes que podem constituir em um repertório de informações potencialmente valiosas para o planejamento do currículo e para o monitoramento da aprendizagem. O desenvolvimento de tais instrumentos de avaliação também pode fornecer as condições que permitam comparar a eficácia relativa de programas institucionais que visam o desenvolvimento de habilidades relativas ao processo de investigação científica. Para Leach (1999), a pesquisa das habilidades e do desempenho dos estudantes durante as atividades práticas é importante para a identificação de novos objetivos dos currículos de ciência em áreas que, previamente, eram consideradas como não problemáticas.

O objetivo desse trabalho é entender como se desenvolve a compreensão dos estudantes sobre alguns conceitos de evidência associados ao processo de experimentação. Nossa pesquisa também pretende identificar como a compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico se desenvolvem ao longo de um período no qual foram realizadas atividades específicas, integralizadas ao currículo normal de Física.

Nossas questões de pesquisa são:

- O que os estudantes sabem sobre os conceitos de evidência ao ingressarem no ensino médio?
- Qual é a compreensão dos estudantes acerca da atividade científica e dos aspectos da natureza da ciência?
- De que forma a compreensão dos estudantes sobre os conceitos de evidência e a natureza da ciência se modificam com a realização de uma seqüência de atividades desenvolvidas durante o ano letivo?

Portanto, ao final da tese de doutoramento, espera-se:

- identificar e definir conhecimentos e habilidades relativas ao processo de investigação científica que os estudantes mobilizam ao realizar atividades práticas;
- apresentar procedimentos e instrumentos adequados que possibilitarão a avaliação e o acompanhamento do desenvolvimento desses conhecimentos e habilidades;
- identificar as possíveis aprendizagens e a evolução das estratégias de experimentação e das concepções epistemológicas dos estudantes decorrentes da utilização do laboratório escolar.

Somente a partir da compreensão sobre o que os estudantes pensam e fazem durante as atividades de laboratório e sobre o potencial de um ambiente de aprendizagem baseado em atividades práticas para promover uma maior compreensão epistemológica da ciência, é que poderemos contribuir para elucidar e definir melhor a importância e o papel do laboratório no currículo de ciências.

1.2 Estrutura da apresentação da pesquisa

A seqüência dos capítulos para a estruturação da tese obedece à seguinte ordem. A introdução é este capítulo, em que apresentamos o problema que orientou a elaboração deste trabalho e a sua relevância para o ensino de ciências.

Para maior organização, a revisão da literatura foi dividida em três capítulos. No capítulo dois fazemos a revisão bibliográfica sobre o laboratório escolar, seus pressupostos epistemológicos, além das principais críticas à forma como as atividades práticas são usualmente estruturadas e conduzidas. Nele discutimos também as atividades estruturadas como investigações como alternativas para melhorar essa situação.

No capítulo três, construímos nosso referencial teórico para discutirmos a natureza do conhecimento procedimental envolvido na realização de uma atividade prática e revisaremos os principais trabalhos da área. No capítulo quatro, abordamos a natureza da ciência e a influência das concepções epistemológicas dos estudantes sobre seu desempenho durante as atividades acadêmicas, sobretudo durante a realização de atividades práticas.

No capítulo cinco, apresentamos as considerações metodológicas da pesquisa e o relato detalhado de como ela foi estruturada. Iniciamos o capítulo com as questões de pesquisa, as quais nortearam toda a construção da metodologia de pesquisa e análise dos dados obtidos. A seguir, caracterizamos brevemente as atividades desenvolvidas pelos estudantes ao longo do ano letivo. No restante do capítulo, apresentamos os pressupostos metodológicos e descrevemos os participantes da pesquisa e cada um dos instrumentos de coleta de dados, assim como os procedimentos gerais de aplicação de cada um deles.

A análise dos dados foi separada em dois capítulos. O capítulo seis é dedicado à análise e discussão dos dados referentes aos conceitos de evidência abordados na tese. O capítulo sete analisa as concepções e idéias dos estudantes sobre a natureza da ciência, sobre o conhecimento científico e sobre o papel da experimentação na ciência e no ensino de ciências.

O capítulo oito encerra a tese. Neste capítulo, retomamos as questões de pesquisa e as respostas produzidas para elas, sempre dialogando com a literatura a luz dos dados e com as informações obtidas através da análise dos mesmos. Finalmente, discutiremos as implicações da nossa pesquisa. Tais implicações serão discutidas no âmbito educacional, voltadas para o aprimoramento e o desenvolvimento de estratégias de ensino/aprendizagem visando a efetividade do laboratório escolar e o alcance dos objetivos a ele atribuídos. Também discutiremos as implicações no âmbito da pesquisa em educação em ciências, explorando as perspectivas de novas pesquisas.

2 ATIVIDADES PRÁTICAS E INVESTIGAÇÃO

Iniciamos o capítulo fazendo um breve histórico sobre a utilização do laboratório no ensino de ciências. Esse histórico nos permitirá identificar e compreender as principais vantagens e limitações desse ambiente de ensino, sobretudo em relação à forma como as atividades práticas são atualmente organizadas. Como forma de suprir as deficiências encontradas nas atividades de laboratório atuais e atingir a maioria dos objetivos a elas atribuídos, discutiremos a importância da adoção de atividades mais abertas, com diferentes níveis de orientação, que forneçam aos estudantes oportunidades de desenvolver suas capacidades de resolução de problemas.

2.1 Atividades práticas: breve histórico e problemas atuais

As atividades práticas podem ser definidas, segundo Millar, Marechal e Tiberghien como

“todo tipo de atividade de aprendizagem que envolva os estudantes em algum momento com o manuseio ou a observação de objetos e materiais reais (ou suas representações diretas através de simulações e vídeos)”. (Millar, Marechal e Tiberghien, 1999, p. 36)

Tal definição está de acordo com a visão de Hodson (1988), segundo a qual atividades práticas não envolvem necessariamente atividades de laboratório tendo, portanto, um âmbito bem maior. Também concordamos com essa definição, mas, neste trabalho, trataremos esses dois termos como sinônimos, já que ele se limita às atividades práticas realizadas em laboratório.

As atividades práticas têm desempenhado, há muito tempo, um papel distinto e central nos currículos de ciências ao longo dos anos, sendo a elas atribuída uma lista enorme de vantagens e benefícios que, como mostraremos adiante, não corresponde à realidade desse ambiente de aprendizagem.

Os laboratórios escolares tiveram suas origens no século XIX. Já ao final desse século, o laboratório escolar passou a ser visto como parte fundamental do ensino de ciências. Porém, até a década de 60, as atividades práticas no ensino de ciências eram utilizadas como atividades com objetivos limitados, puramente ilustrativas e demonstrativas, com o papel de auxiliar a compreensão das aulas teóricas (Klainin, 1988; Hofstein, 1988; Lunetta, 1998).

Com as reformas curriculares das décadas de 60 e 70 e a implantação dos grandes projetos como o PSSC, BSCS, Nuffield, entre outros, as atividades práticas ganharam uma nova importância. Em muitos países, passaram a estar intimamente relacionadas com as aulas de ciências, sendo o elemento norteador dos currículos então vigentes. Como consequência disso, iniciaram-se as pesquisas sobre o papel e os objetivos do laboratório escolar na educação secundária e superior. Tais pesquisas identificaram um conjunto de crenças e expectativas entre professores e planejadores de currículos sobre o papel fundamental das atividades experimentais e as razões para a sua extensa utilização e valorização dentro do ensino de ciências.

Porém, no final da década de 70 e início da década de 80, pesquisadores e educadores começaram a questionar a eficiência e o papel do laboratório (Hofstein e Lunetta, 1982). Os questionamentos surgiram devido às pesquisas na área do desenvolvimento do pensamento científico, das aprendizagens e construções de conceitos científicos e da natureza da ciência (Lunetta, 1998).

Tal situação de desconfiança com relação ao laboratório escolar e das possíveis vantagens dele decorrentes ainda não foram resolvidas na literatura, ou seja, não há ainda uma clareza sobre como as atividades práticas preencheriam o papel de destaque que foi a elas concebido. Três grandes revisões bibliográficas realizadas até meados da década de 90 trazem questionamentos sobre a relevância do trabalho prático no ensino de ciências, argumentando sobre a ausência de pesquisas com resultados empíricos conclusivos para se definir a eficiência desse tipo de atividade para o processo de ensino/aprendizagem e quais os meios para se obter essa relevância (Hofstein e Lunetta, 1982; Hodson, 1993; Lazarowitz e Tamir, 1994; Barberá e Valdés, 1996).

Um aspecto que deve ficar claro para professores e estudantes é a grande diversidade de tipos de atividades práticas que podem ser desenvolvidas no laboratório escolar de ciências. Há uma tendência, por parte tanto dos professores quanto dos estudantes, de chamar todo o tipo de atividade prática realizada em laboratório de experimento. Boa parte das atividades realizadas durante as aulas de ciências não são, na verdade, experimentos. São

atividades que limitam-se às vezes apenas ao manuseio de equipamentos, ao desenvolvimento de habilidades específicas ou à ilustração de determinado fenômeno.

Para que as práticas de laboratório sejam implementadas e os objetivos a elas atribuídos sejam alcançados, pode-se utilizar uma diversidade enorme de atividades, que devem ser preparadas e definidas de diferentes maneiras de acordo com os interesses do professor e as necessidades dos estudantes. Vários autores apresentam diferentes classificações para as atividades práticas (Tamir e Lunetta, 1981; Tamir, 1991; Gott e Duggan, 1995; Germann, Haskins e Auls, 1996; Wellington, 1998).

Essa diversidade na natureza das atividades experimentais adotadas e as diferentes formas metodológicas de abordá-las indicam, principalmente, compreensões distintas tanto do processo de construção do conhecimento na ciência, quanto das relações de ensino e aprendizagem e, como consequência, das possibilidades do laboratório enquanto ambiente de aprendizagem.

Herron (1971) e Tamir (1991) classificam as atividades práticas em quatro níveis distintos de investigação¹ (veja quadro 2.1), utilizando, para isso, o controle que o estudante possui sobre três etapas fundamentais das atividades práticas: a definição do problema, a definição dos procedimentos e a obtenção das conclusões.

Quadro 2.1 – Níveis de classificação das atividades investigativas segundo Tamir (1991)

Nível de Investigação	Problema	Procedimento	Conclusão
Nível 0	Dado	Dado	Dada
Nível 1	Dado	Dado	Em aberto
Nível 2	Dado	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Segundo essa categorização, nas atividades do Nível 0, o objetivo, o procedimento e, até mesmo, a conclusão são fornecidos pelo professor ou pelo roteiro. No Nível 1, somente a conclusão fica a cargo do aluno. No Nível 2, apenas o problema é proposto ao aluno. Finalmente, no Nível 3, o aluno é responsável, também, pela identificação de um problema interessante para a investigação. Nas atividades desses últimos níveis, o aluno planeja a

¹ Ao longo desse trabalho, consideraremos atividade investigativa como sinônimo de atividade prática, pois, segundo a classificação acima, existem vários níveis de investigação, não apenas aquelas mais abertas.

atividade, formula hipóteses, define os procedimentos, coleta e analisa os dados, discute os resultados e obtém uma conclusão.

Segundo Borges (2002), podemos também categorizar e classificar os trabalhos práticos contrastando-os segundo três aspectos: o grau de abertura, o objetivo da atividade e a atitude do estudante com relação à atividade. O ‘grau de abertura’ é a indicação de quanto o professor ou o roteiro da atividade especifica os passos a serem realizados pelo aluno. O quadro 2.2 sugere, com relação ao grau de abertura, a existência de um contínuo, cujos extremos seriam: exercícios e práticas com os procedimentos bastante especificados pelo roteiro, de um lado, e problemas completamente abertos ou investigações genuínas, de outro. Na linguagem de resolução de problemas tem-se, em um extremo, um problema muito bem definido. Deslocando-se ao longo do contínuo, passa-se para problemas cada vez menos definidos e estruturados até chegar ao extremo dos problemas completamente abertos. Entre esses dois extremos, há uma gama de possibilidades sobre a determinação de quem tem o controle ou a responsabilidade por certas etapas da atividade.

Quadro 2.2 – Classificação das atividades práticas segundo Borges (2002)

Aspectos	Laboratório Tradicional	Atividades Investigativas
Grau de abertura	Roteiro pré-definido	Variado grau de abertura
	Restrito grau de abertura	Liberdade total no planejamento
Objetivo da atividade	Comprovar leis/ ilustrar fenômenos	Explorar fenômenos
Atitude do estudante	Compromisso com o resultado	Responsabilidade na investigação

A maior parte das práticas realizadas no ensino de ciências se enquadraria, então, nas atividades dos tipos ilustração, observação e descoberta ou nos níveis de investigação 0 e 1 (Tamir e Lunetta, 1981; Tamir e Garcia, 1992). Basear o currículo de ciências somente em tais atividades é insuficiente para atingir todos os objetivos atribuídos às atividades práticas, embora elas possam ter maior peso nas etapas iniciais do estudo das ciências.

Currículos em que predominam práticas de ilustração pouco contribuem para promover uma melhor compreensão conceitual de suas principais idéias e, também, para aproximar os estudantes das atividades de fazer ciência. O que se vê hoje, é que os laboratórios se transformaram, normalmente, em lugares para comprovar a verdade ensinada

nas aulas teóricas, lugares para “produzir bons resultados” ou testar uma lei científica. O foco nesses casos está sobre o conteúdo já visto e não sobre, de fato, o aprendizado do estudante.

Assim, os roteiros usados são tradicionalmente verdadeiros “livros de receita”, que prescrevem quais são os passos e em que ordem o estudante deverá segui-los para realizar a atividade proposta. Isso reprime sua iniciativa, sua curiosidade e sua imaginação, inibindo o desenvolvimento do seu pensamento crítico e criativo.

Esse tipo de laboratório acaba provocando, geralmente, o desinteresse entre os alunos, pois gasta-se muito tempo na coleta dos dados e em cálculos intermediários para se obter “a resposta que o professor pediu”, ou que o estudante já sabe, não contribuindo para que o aluno exercite a tomada de decisões, a avaliação de alternativas de ação de forma crítica e independente e o estímulo do trabalho em equipe. Os estudantes tendem a encarar a atividade no laboratório como mais uma tarefa rotineira, sem se envolver com as questões e problemas colocados, sem mobilizar seu conhecimento, sua imaginação e engenhosidade, resultando no não desenvolvimento do seu pensamento científico.

Como conseqüência, os estudantes geralmente concebem a ciência como um conjunto de conhecimentos provados e verdadeiros, rígidos e imutáveis, descobertos por cientistas geniais. Além disso, desenvolvem um entendimento de que aprender ciências significa aprender a aplicar as fórmulas e os raciocínios propostos em aula ou em livros para chegar às respostas corretas.

Além disso, a forma como essas atividades práticas estão estruturadas e são conduzidas pelos professores, muitas vezes, desconsidera ou ignora a importância de reflexões sobre a relação entre os passos executados e o objetivo proposto; a proposição de novos passos ou novas formas para a resolução do problema; como os dados coletados podem ser interpretados e como eles contribuem para sustentar ou refutar as hipóteses formuladas; qual a qualidade das evidências disponíveis etc.

Para Driver, Newton e Osborne (2000), por não haver tempo e ênfase na discussão dessas questões, a principal mensagem que é transmitida, na maioria das atividades práticas atualmente desenvolvidas, é a de que os dados coletados são evidentes e ‘falam’ por si só e as ações de interpretação e de construção pessoal do conhecimento são completamente desconsideradas frente aos objetivos educacionais mais prioritários. Outro aspecto é que ao saber qual deve ser o resultado final, os estudantes e os professores trabalham com a idéia de que as atividades têm que dar certo. Dessa forma, Quando os resultados esperados não são obtidos, os estudantes tendem a “maquiar” suas medidas e cálculos ou atribuem erros de medidas às discrepâncias, sem refletir sobre os fatores que causaram tais variações. Por fim,

quando algum grupo se dispõe a examinar esses fatores e pede ajuda ao professor, ele fica inseguro e apavorado já que ele mesmo acredita, quase sempre, que a atividade tem que funcionar corretamente.

Assim, esse tipo de atividade prática, chamada de “tradicional”, resulta em aprendizagens muito aquém daquelas expectativas mais otimistas dos defensores dos grandes projetos das décadas de 60 e 70, que popularizaram o ensino experimental na educação básica. Nela, os estudantes geralmente coletam dados sem compreender o sentido de suas ações e o porquê dos resultados obtidos (Roychoudhury e Roth, 1996). Ao longo do tempo, por não apresentarem desafios aos estudantes, as atividades em laboratório acabam se transformando em mais uma rotina.

2.2 Atividades investigativas

Para mudar esse quadro de descrédito em relação aos laboratórios de ciências, deve-se procurar envolver os estudantes em atividades que desenvolvam suas capacidades de resolução de problemas, com diferentes níveis de dificuldade e de orientação. Para estimular o desenvolvimento dos alunos, as práticas propostas devem ser diversificadas e balanceadas. Dentre os diversos tipos, acreditamos que as investigações, propostas pelos próprios alunos ou pelo professor, têm o potencial de engajar e motivar os estudantes, permitindo a superação das deficiências das práticas tradicionais levantadas acima. Além disso, por exigirem dos estudantes uma participação efetiva durante toda a atividade, fazem com que estes tenham um papel mais ativo no seu processo de aprendizagem.

Diversos trabalhos sugerem alternativas semelhantes, propondo estruturar as atividades de laboratório como investigações ou problemas práticos com variados graus de abertura (Tamir, 1991; White, 1996; Varela e Martinez, 1997; Borges, 1997; Borges, Borges, Silva e Gomes, 2001).

Segundo esses pesquisadores, laboratórios investigativos, que podem ser utilizados em quaisquer níveis de ensino, têm o potencial de envolver mais os estudantes ao conferir-lhes uma maior responsabilidade na determinação do planejamento e da condução da atividade. A realização de uma investigação requer que o estudante articule suas habilidades cognitivas e conhecimentos práticos e conceituais, desenvolvendo-os e integrando-os simultaneamente.

“Especificamente e mais praticamente, investigações implicam que os estudantes (a) identifiquem problemas e soluções, e testem essas soluções, (b) desenhem seus próprios procedimentos e análise de dados, (c) formulem novas questões baseadas nas proposições anteriores e nas soluções, (d) desenvolvam questões baseadas em seus conhecimentos prévios, (e) associem suas experiências às atividades, conceitos científicos e princípios da ciência e, (f) divida e comunique os procedimentos, resultados e soluções.” (Roth, 1995, p.xiii)

O reconhecimento da importância e do potencial que as atividades práticas organizadas como investigações podem ter para o ensino de ciências não é novidade. As reformas curriculares das décadas de 60 e 70 promoveram uma mudança na estruturação das atividades de laboratório que deixaram de ser meramente demonstrativas, voltando-se para a pesquisa ou a descoberta e fornecendo aos estudantes a oportunidade de desenvolver as habilidades relativas ao processo de investigação (Klainin, 1988).

Porém, os pressupostos sobre os quais se fundamentavam os projetos baseados em processos foram extensamente criticados (Millar e Driver, 1987; Hodson, 1988, 1996; Millar, 1989). Uma das características desse ensino voltado para o ‘método científico’ era que uma atividade deveria ser especificamente concebida e preparada para desenvolver uma habilidade ou processo e, muitas vezes, não tinha relação com outras atividades. Eram situações artificiais, sem conexão com a realidade e carentes de significados para os alunos. A descontextualização das habilidades e processos foi o motivo apontado por alguns autores como um dos responsáveis pelo fracasso desses projetos (Barberá e Valdés, 1996; Ntombela, 1999).

Mas, de modo geral, o movimento promovido pela chamada ‘abordagem por processos’ foi muito importante. Ele pode ser entendido como um movimento de reação contra o modelo tradicional de transmissão de conhecimentos que vigorava até então. Os defensores do ensino por processos objetivavam o engajamento ativo dos estudantes no processo de aprendizagem. Porém, Millar argumenta que houve uma confusão entre os fins e os meios na educação em ciências nesse período (Millar e Driver, 1987; Millar, 1991). Segundo ele,

“os processos não foram vistos apenas como elementos estruturadores do currículo ou meios através dos quais objetivos mais fundamentais poderiam ser alcançados, mas sim, como fins em si mesmos, os objetivos primordiais do ensino de ciências” (Millar, 1991, p. 45).

Nas décadas de 80 e 90, educadores e pensadores de currículos, influenciados por pesquisas na área de cognição e pelo desenvolvimento de práticas pedagógicas ligadas à

perspectiva construtivista do conhecimento, propuseram uma reorientação dos trabalhos práticos. A idéia era que eles adquirissem características de investigações genuínas, de forma a integrar, efetivamente, os processos e métodos de investigação com os conteúdos das atividades.

Além de proporcionar uma aprendizagem mais significativa, ativa e contextualizada para os estudantes, essas atividades ainda tendem a promover o engajamento dos mesmos, uma vez que os estudantes se sentem motivados e desafiados a resolvê-las. Sendo assim,

“o desafio para a educação em ciências não é desenvolver ou ensinar processos. É o de apresentar a ciência de maneira que o estudante sinta-se pessoalmente estimulado a utilizar as habilidades cognitivas que ele já possui, para adquirir algum conceito científico para ajudá-lo a compreender o mundo.” (Millar, 1991, p. 50).

Numa investigação, espera-se que, idealmente, os próprios estudantes sugiram as formas e/ou os procedimentos para desenvolvê-las. É claro que para isso, eles podem necessitar do auxílio do professor, especialmente nas primeiras investigações ou em situações mais complexas. Para o aprendizado do estudante, o tempo gasto na preparação e na elaboração de um método para a resolução de um problema é mais importante do que o tempo gasto na elaboração de relatórios, que acabam tornando-se cópias dos roteiros.

Estudos sobre a utilização de laboratórios investigativos sugerem que essa estratégia desperta mais o interesse do estudante, aumenta a responsabilidade na determinação do processo operacional, possibilita uma melhor compreensão do que é o método científico, produz um aumento significativo no ganho educacional se comparado ao tradicional e pode ser utilizado por qualquer estudante, não só os mais talentosos. O planejamento e a execução de atividades investigativas podem, portanto, contribuir para o estabelecimento das conexões entre os conceitos, a natureza da ciência e ainda, os procedimentos e as atitudes da atividade científica (Roth e Roychoudhury, 1993; Roth, 1995; White, 1996).

O novo impulso para a utilização das atividades investigativas no ensino de ciências veio com a reforma curricular, iniciada nos Estados Unidos, com o projeto 2061 na década de 80 (AAAS, 1990; NRC, 1996). A publicação desses documentos fez parte, segundo Flick e Lederman (2006), de um movimento mais amplo para produzir, naquele país, um currículo de ciências padrão, com determinações específicas sobre os conteúdos a serem tratados, as estratégias de ensino, as formas de avaliação, entre outros elementos.

O argumento principal para a utilização das atividades investigativas como estratégia de ensino é a de que elas se espelhassem na investigação científica, uma vez que enfatizam o

questionamento, a pesquisa e o processo de resolução de problemas. Como os cientistas desenvolvem suas investigações em laboratórios, bibliotecas, visitas de campo e por meio da discussão com seus pares, os estudantes engajariam em atividades similares nas aulas de ciências.

Desse modo, tais estratégias de ensino devem capturar o mesmo espírito das investigações científicas, sendo que a forma exata como serão utilizadas depende dos objetivos que o professor ou o currículo determinam. Essas atividades devem ser centradas nas atividades mentais dos estudantes e possuem, claramente, o objetivo de desenvolver habilidades relativas à produção e análise de evidências e também, a capacidade de propor explicações científicas (Driver, Newton e Osborne, 2000; Sandoval e Reiser, 2004).

De forma geral, o que é necessário é um ambiente de aprendizagem aberto e orientador no qual os estudantes recebam assistência para gerar suas próprias questões ou investigar questões que são significativas e importantes para eles. Driver, Newton e Osborne (2000) enfatizam a importância do professor para o desenvolvimento intelectual e cognitivo dos estudantes através da criação de um ambiente em sala de aula, propício para a reflexão, a argumentação e atividades que contribuam para uma melhor compreensão da atividade científica. Como o objetivo principal da utilização das investigações como estratégia de ensino é desenvolver a autonomia dos estudantes, esse ambiente também deve fornecer condições para que os estudantes proponham estratégias produtivas de resolução de problemas propostos a eles ou por eles.

Dada a grande ênfase na utilização de atividades investigativas no ensino de ciências, vários trabalhos dedicados ao tema foram publicados nos últimos anos (Wellington, 1998; Leach e Paulsen, 1999; NRC, 2000; Psillos e Niedderer, 2002; Flick e Lederman, 2006). Tais publicações tornaram-se uma excelente referência para professores interessados na implementação dessas atividades em sala de aula e para pesquisadores interessados nessa promissora área de pesquisa.

3 CONHECIMENTO PROCEDIMENTAL E CONCEITOS DE EVIDÊNCIA

A realização de uma atividade prática é um processo complexo que envolve a mobilização de uma gama de habilidades e conhecimentos. Para entendermos as ações e o pensamento dos estudantes durante a realização dessas atividades, temos que, inicialmente, compreender os conhecimentos e a natureza das habilidades e das competências mobilizadas durante a atividade. Nesse capítulo, desenvolveremos um modelo dos conhecimentos e das habilidades que os indivíduos mobilizam ao executarem uma atividade prática. Definiremos também os ‘conceitos de evidência’ e discutiremos em maior profundidade aqueles que serão contemplados neste trabalho. Tal modelo é importante para compreender e descrever a progressão na aprendizagem dos estudantes e a progressão nas seqüências e atividades de ensino, além de entender o que deve ser avaliado. Assim, essa construção teórica nos dará suporte para a formulação das questões de pesquisa, norteando todo o desenvolvimento da mesma, incluindo a elaboração dos instrumentos de pesquisa e a análise e discussão dos dados coletados.

3.1 Os conhecimentos envolvidos durante uma atividade prática

A realização bem sucedida de uma atividade prática requer que o estudante aprenda e mobilize uma série de novos conceitos, competências e habilidades relacionadas à experimentação. Os resultados obtidos por diversos pesquisadores indicam que indivíduos, quando engajados em atividades práticas, enfrentam certas dificuldades (Milar e colaboradores, 1994; Gott e Duggan, 1995; Schauble, 1996; Gomes, 2005). É necessário, então, que busquemos compreender o raciocínio e a natureza dos conhecimentos e das habilidades mobilizados por eles durante a realização dessas atividades para que sejam estabelecidas metas curriculares factíveis e formas mais eficazes de se promover o desenvolvimento do pensamento científico dos estudantes. Isso é necessário para que os

estudantes possam compreender melhor tanto os diversos conceitos que compõem a ciência, quanto os métodos e os procedimentos da atividade científica.

Nesse contexto, é importante discutirmos as significações dos termos habilidade e competência, uma vez que estão presentes, com frequência, nos referenciais e parâmetros curriculares, bem como em provas e exames nacionais (Brasil, 2002; INEP, 2005). Segundo o INEP,

“competências são modalidades estruturais da inteligência, ou melhor, ações e operações que utilizamos para estabelecer relações com e entre objetos, situações, fenômenos e pessoas que desejamos conhecer. As habilidades são especificações das competências estruturais em contextos específicos, decorrem das competências adquiridas e referem-se ao plano imediato do ‘saber fazer’. Por meio das ações e operações, as habilidades aperfeiçoam-se e articulam-se, possibilitando nova reorganização das competências” (INEP, 2001, p.11)

Os PCN+EM (Brasil, 2002) concebem cada competência como um feixe ou uma articulação coerente de habilidades. Assim, observa-se que a relação entre umas e outras não é de hierarquia. Trata-se mais exatamente de abrangência, ou seja, conceber a habilidade como uma competência específica.

Macedo (2005) também afirma que a competência é uma habilidade de ordem geral, enquanto a habilidade é uma competência de ordem particular e específica, mas ressalta que, a diferença entre competência e habilidade depende do recorte que se faz do problema. Para o autor, habilidades são conjuntos de possibilidades ou repertórios que expressam múltiplas e esperadas conquistas. Competência é o modo como se convergem as necessidades e se articulam as habilidades em favor de um objetivo ou solução de um problema, não redutível às habilidades, nem às contingências em que certa competência é requerida.

Relacionamos o termo habilidades ao ‘saber fazer’ algo específico. Isso significa que o termo está associado a uma ação, física ou mental, indicadora de uma capacidade adquirida por alguém. Habilidade representa, assim, o potencial que se expressa concretamente em realizações ou desempenhos, envolvendo a apresentação de respostas corretas para os problemas e o conhecimento de determinado conteúdo. A competência, nesta concepção, seria a estrutura resultante do desenvolvimento harmônico de um conjunto de habilidades e indicaria um nível padronizado de realização.

Portanto, os dois aspectos fundamentais da competência são: o conhecimento e a capacidade de mobilização do conhecimento e das habilidades frente a uma situação

problema. A competência se desenvolve ao longo da formação do sujeito por meio do desenvolvimento de habilidades, o que requer investimento em experiências de aprendizagem.

A atividade científica envolve uma gama de processos, habilidades e competências como a formulação de questões e hipóteses, o planejamento de experimentos, a correta utilização de equipamentos, a observação de fenômenos, a realização de medidas, a predição, a coleta, o tratamento e a análise dos dados, a avaliação de evidências, a realização de inferências e a construção e a revisão de teorias e modelos. Dessa forma, as dificuldades que os indivíduos enfrentam durante a realização de uma atividade científica são perfeitamente compreensíveis, dada a complexidade de tal atividade.

Devido a essa complexidade, educadores e pesquisadores limitaram suas pesquisas, na área da cognição humana, concentrando-se unicamente em habilidades específicas ou nos aspectos conceituais ou operacionais do raciocínio científico. Ou seja, o foco das pesquisas era a aquisição e o desenvolvimento de apenas um tipo de conhecimento: o conhecimento conceitual ou o conhecimento procedimental, desconsiderando as situações, muitas vezes complexas, em que os dois tipos de conhecimento interagem. Klahr aponta as consequências dessa complexidade na interação entre os dois tipos de conhecimento argumentando que

“a metodologia de pesquisa na maioria dos estudos sobre o pensamento científico foi a de investigar cada habilidade isoladamente e em contextos semanticamente limpos. Essa estratégia obteve resultados muito importantes sobre as diferentes etapas do processo científico, mas resta muito ainda para ser compreendido sobre como essas etapas interagem entre si e como essa interação é influenciada pelo conhecimento prévio do indivíduo.” (Klahr, 2000, p. 59).

Para Gott e Duggan (1995), o conhecimento conceitual, também conhecido como conhecimento declarativo, refere-se à compreensão das idéias da ciência que são baseadas em fatos, leis e princípios. Já o conhecimento prático ou procedimental diz respeito à compreensão de uma série de fatores que são complementares ao conhecimento conceitual e relacionados com o ‘saber como’ da ciência e com o conhecimento necessário para se fazer ciência.

A separação entre o conhecimento conceitual e o conhecimento procedimental remonta à separação entre os conhecimentos específico e geral, pois acreditava-se que os conhecimentos conceituais seriam específicos e que os conhecimentos procedimentais seriam gerais, independentes do domínio teórico (McCormick, 1997).

Talvez o marco inicial de tal distinção tenha sido o influente trabalho de Inhelder e Piaget (1976). Nele, os autores preocupam-se em descrever e analisar as principais características das estruturas gerais do pensamento do indivíduo durante os diferentes estágios de seu desenvolvimento cognitivo.

Inhelder e Piaget afirmam que antes da adolescência e do desenvolvimento das operações formais, as crianças não possuem estruturas de regulação e controle efetivo que guiem seus procedimentos durante a experimentação, o que justificaria, destacadamente, as suas falhas procedimentais em atividades práticas, inclusive a realização de experimentos que envolviam o controle de variáveis.

Para Piaget, o estágio do pensamento lógico-formal é o estágio final do desenvolvimento cognitivo do indivíduo e é caracterizado pelo pensamento hipotético-dedutivo. Esse estágio é atingido quando a coordenação entre uma série de operações e estratégias cognitivas de diversos tipos é alcançada, independentemente do contexto, impondo uma nova atitude experimental, principalmente, com a generalização da capacidade de isolar e dissociar fatores. Essa capacidade é fundamental para o reconhecimento da importância e da execução de um controle efetivo das variáveis.

É fundamentalmente ao atingir o estágio do pensamento lógico-formal que o adolescente se torna capaz de refletir e operacionalizar as diversas transformações e operações obtidas e aprendidas nos estágios anteriores como a seriação, a classificação e a relação. Isso permite que o indivíduo reúna certo número de esquemas operatórios que utilizará continuamente em seu pensamento experimental, constituindo uma lógica formal aplicável a qualquer conteúdo (Coutinho e Moreira, 2001) e realçando o caráter geral do fenômeno dos esquemas operatórios formais.

Durante as mudanças curriculares dos anos 60, havia a crença de que o currículo de ciências deveria privilegiar e enfatizar o ensino dos conhecimentos procedimentais, ou seja, os processos da ciência ou o método científico, vistos como procedimentos/ habilidades gerais e transferíveis entre contextos, e não os produtos da pesquisa científica (conhecimento conceitual). Tal concepção contribuiu de forma decisiva para que a dicotomia entre conhecimento específico versus o conhecimento geral fosse acentuada, gerando duas literaturas quase que distintas (Novak, 1977; Lawson, 1982).

3.1.1 O conhecimento conceitual

Uma abordagem para se estudar o desenvolvimento do pensamento científico no indivíduo, envolveu pesquisas que buscavam descrever e analisar os conceitos e as idéias que os indivíduos mobilizam em resposta aos mais diversos fenômenos nos diferentes domínios da ciência. Um dos principais focos dessas pesquisas são as idéias ou os conceitos intuitivos que os indivíduos, mesmo crianças, trazem para a sala de aula. Tais idéias, geralmente distantes dos conceitos científicos, são construídas desde a infância, através da interação do indivíduo com seu meio físico, cultural e social. A produção desse período é bem conhecida e foi sumarizada em amplas revisões (Wandersse, Mintzes e Novak, 1994; Driver, Squires, Rushworth e Robinson, 1994). Também as pesquisas na área de mudança conceitual (Carey, 2000; Kang, Scharmann e Noh, 2004) e de modelos mentais (Gilbert e Boulter, 2000) contribuíram para destacar a importância das concepções e modelos prévios para os estudantes e suas influências sobre a aprendizagem de tópicos de ciências.

Wellman e Gelman (1992) afirmam que muito antes de entrarem na escola, crianças distinguem o mundo físico, o mundo natural e o mundo mental e começam a raciocinar de forma bastante diferente nesses três domínios. Segundo os autores, (a) as crianças reconhecem e fazem distinções ontológicas, (b) utilizam princípios causais específicos para raciocinar em domínios específicos e (c) possuem uma rede coerente de relações causais que interliga vários conceitos dentro de um mesmo domínio. Portanto, a pesquisa sobre a caracterização das estruturas cognitivas e conceituais específicas de cada domínio do conhecimento torna-se fundamental, em vista do papel que elas desempenham na aprendizagem de novos conhecimentos.

Pesquisas nessa área mostram que das simples idéias ou concepções intuitivas, muitas vezes pouco ligadas às estruturas de pensamento, aos mecanismos de causalidade mais ou menos sofisticados, fundamentados e, até mesmo, profundamente arraigados, permitem ao indivíduo fornecer explicações sobre domínios mais ou menos específicos do mundo que o cerca.

Porém, como os indivíduos desenvolvem essas concepções? Qual a sua origem? Diversos estudos pesquisam como os indivíduos obtêm e utilizam as informações disponíveis para formular hipóteses, sobretudo, sobre a relação de causalidade entre variáveis (Monk, 1995; Stavy e Tirosh, 1996; Oliva, 1999). Ao contrário dos trabalhos descritos acima, tais estudos não se limitam a identificar as hipóteses ou a estudar como os indivíduos formulam

hipóteses em situações específicas ou determinados problemas. Suas preocupações se voltam para as habilidades e limitações gerais dos indivíduos em formular hipóteses em contextos mais amplos, isto é, para aspectos gerais de raciocínio dos indivíduos.

White (1988) apresenta uma extensa revisão sobre as origens e o desenvolvimento das diversas atribuições causais realizadas pelos indivíduos, tanto no dia-a-dia, quanto durante uma investigação científica. Segundo o autor, as primeiras relações causais entre fatores são estabelecidas logo aos três meses de idade, quando o recém-nascido observa uma continuidade e uma regularidade nos movimentos dos objetos que o cercam. Mas, devido às atribuições causais envolverem a associação entre eventos e fatores, ao invés de serem consideradas isoladamente, o processamento dessas relações durante a infância fica limitado às associações que a criança é capaz de perceber ou reconhecer. No entanto, crianças apresentam grandes dificuldades em reconhecer as relações e associações entre eventos, principalmente aquelas que ocorrem em diferentes instantes ou momentos.

Identificamos, diariamente, uma gama enorme de eventos e relações entre esses eventos. Mas quais dessas relações reconhecemos como causais e por que? Para White, utilizamos para a nossa orientação certos indícios ou pistas para o estabelecimento das diferentes relações entre eventos, sobretudo as de causalidade.

A utilização de evidências de covariação, como uma dica ou pista sobre a causalidade entre eventos, não está presente de forma regular em crianças e até mesmo em adultos, que podem apresentar falhas na sua aplicação (Kuhn, Amsel e O'Loughlin, 1988).

O desenvolvimento do processo de atribuição de causalidade entre os eventos consiste, substancialmente, em abstrair das características invariáveis das relações entre os eventos, as dicas e as pistas acima citados. Por serem abstraídas e generalizadas, essas dicas ou pistas podem ser utilizadas pelo indivíduo para estabelecer relações de causalidade mais sofisticadas. Sua importância para o processamento das relações causais entre eventos em adultos é um reflexo de como se originaram e se desenvolveram durante a infância do indivíduo.

Finalmente, uma vez que o indivíduo obtém uma compreensão geral do que seja uma relação de causalidade, ou seja, a noção de que um evento pode causar ou pode ser responsável por outro evento, ele está em condições de estabelecer relações causais em contextos específicos, formular hipóteses sobre supostas relações causais entre determinados eventos e adquirir, por meio dessa habilidade, conhecimentos específicos sobre os mais diversos domínios.

3.1.2 O conhecimento procedimental

A segunda abordagem para se compreender o desenvolvimento do pensamento científico dos indivíduos parte do pressuposto de que este é uma “*habilidade intelectual geral*” (Voss, Riley e Carretero, 1995, p. 160) e envolve o foco sobre as estratégias gerais de resolução de problemas, independentes de contextos específicos e domínios teóricos.

Essa abordagem teve sua origem nas pesquisas sobre o processo de resolução de problemas nas áreas da psicologia do desenvolvimento e ciências cognitivas. Segundo essa visão, qualquer problema pode ser descrito em termos de um estado inicial, um estado final desejado, e um conjunto de operações e operadores para transformar o estado inicial no estado final, através de uma série de movimentos entre estados intermediários. O processo de resolução do problema consiste em realizar operações que levem o sujeito do estado inicial em direção ao estado final, o que não significa que o processo é linear e não-problemático. O conjunto das operações, operadores e limitações que compõem o problema, delimita o seu campo e o seu processo de resolução pode ser caracterizado como uma procura ou busca por caminhos ou ligações entre os estados inicial e final.

A pesquisa sobre o pensamento científico dos indivíduos foi muito influenciada pela pesquisa na área de resolução de problemas (VanLehn, 1989; Klahr e Simon, 2001, por exemplo). As habilidades mais investigadas relacionavam-se com o processo de investigação científica e incluíam estratégias gerais ligadas, principalmente, à realização de experimentos e à análise de evidências. Em atividades que envolvem o raciocínio científico, dada a falta de um consenso sobre a medida na qual as diferenças e os progressos do desempenho dos indivíduos seriam resultante de aquisições no domínio de conhecimentos específicos ou gerais, a maior característica metodológica dessa abordagem consistiu em utilizar atividades e contextos nos quais os participantes não possuíam conhecimentos específicos sobre o assunto ou que tais conhecimentos fossem bastante minimizados. Dessa forma, o foco dessas pesquisas concentrava-se nos aspectos lógicos e operacionais do processo de produzir e analisar evidências.

3.1.2.1 O processo de experimentação e produção de evidências

Os estudos nessa área caracterizam-se por centrar suas atenções na capacidade dos participantes em identificar e efetivamente controlar variáveis durante o teste de hipóteses

bem determinadas, em contextos nos quais os participantes não possuíam conhecimentos específicos (Kuhn e Angelev, 1976; Bady, 1979; Rowell, 1984; Sodian, Zaitchik e Carey, 1991). Portanto, não há hipóteses alternativas, nem evidências que podem ser interpretadas de acordo com o conhecimento prévio. Para resolver os problemas propostos, cada participante devia configurar os experimentos, selecionando, entre as opções disponíveis, aquelas que mais contribuíssem para a solução do problema. Tais estudos visavam compreender como os estudantes agem e como entendem os aspectos lógicos e operacionais do processo de teste de hipóteses de forma geral, sem privilegiar determinado contexto.

Esses estudos concluem que crianças e jovens em maior grau e, até mesmo adultos, possuem dificuldades em reconhecer e implementar testes conclusivos para testar determinadas hipóteses. Porém, em atividades de menor complexidade crianças com sete ou oito anos já compreendem o que significa testar uma hipótese através da experimentação. Elas conseguem também distinguir experimentos conclusivos de experimentos confusos ou indeterminados, possuindo, assim, a base para a aquisição de conhecimentos conceituais e procedimentais mais complexos.

3.1.2.2 O processo de análise de evidências

Os estudos que buscam identificar como os indivíduos analisam evidências concentram-se em determinar a habilidade dos participantes em selecionar hipóteses que são suportadas pelas evidências e pelos dados apresentados (Shaklee e Paszek, 1985; Ruffman, Perner, Olson e Doherty, 1993; Masnick e Morris, 2002; Koerber e colaboradores, 2005). Nessas pesquisas, os autores utilizam contextos artificiais ou pouco familiares aos participantes. Por não possuírem conhecimentos específicos, nem hipóteses preferenciais sobre os assuntos abordados, os participantes têm que limitar suas análises e tirar as conclusões baseando-se apenas nas evidências apresentadas.

3.1.3 O modelo SDDS: o reconhecimento da integração entre os conhecimentos

De acordo com Klahr e Dunbar (1988), para ser um cientista de sucesso, deve-se possuir duas habilidades fundamentais: saber para onde olhar e entender aquilo que se vê. A primeira habilidade – planejamento experimental – envolve o planejamento do experimento e

de procedimentos observacionais. Já a segunda habilidade – formulação de hipóteses – envolve a formulação de teorias e sua avaliação.

Reconhecendo a integração entre o planejamento experimental, o processo de formulação de hipóteses e a influência do contexto da investigação sobre essas atividades, Klahr e Dunbar propuseram um modelo integrado dos processos cognitivos envolvidos na resolução de problemas práticos. Em seu trabalho, observaram estudantes enquanto realizavam uma atividade exploratória cujo objetivo era o de determinar ou descobrir a função de determinada tecla em um robô controlado por computador. Ao analisar o raciocínio e as ações dos estudantes e baseando-se em trabalhos anteriores, propuseram que o processo de descoberta científica desenvolve-se como o processo de resolução de problemas.

Para a resolução de um problema prático, Klahr e Dunbar (1988) identificam dois campos distintos, porém relacionados: o campo das hipóteses e o campo da experimentação. Segundo eles, o primeiro passo para qualquer processo de descoberta, seja ela científica ou a resolução de um problema, é a busca por uma hipótese. Normalmente, as hipóteses sobre determinados problemas resumem-se na determinação das relações causais entre variáveis. Assim, a hipótese formulada guia o processo de descoberta enquanto ela não for substituída por outra. A hipótese inicial é baseada, geralmente, no conhecimento prévio do indivíduo sobre o domínio teórico e no seu entendimento acerca do problema. Ela pode ser originada a partir de simplificações deliberadas do problema, como a adoção de casos extremos ou limites, e de aproximações e idealizações, quando os problemas enfrentados são complexos ou quando o conhecimento dos sujeitos sobre a situação é insuficiente ou ainda, há falta de informações fundamentais. A hipótese pode também ser formulada a partir de resultados de experimentos exploratórios.

Uma vez geradas, as hipóteses são avaliadas segundo sua plausibilidade. Para esse julgamento, o conhecimento e a familiaridade do domínio interferem de forma decisiva. Além das hipóteses tidas como mais plausíveis serem testadas antes das menos plausíveis, diferentes estratégias experimentais podem ser utilizadas para testá-las (Klayman e Ha, 1987; 1989).

As hipóteses são avaliadas, modificadas e até mesmo formuladas por meio da experimentação. Klahr e Dunbar não mencionam, em detalhes, como os experimentos podem ou devem ser configurados, ou seja, sobre o que constitui um experimento bem concebido e informativo. Porém, a configuração experimental depende do objetivo da busca no campo da experimentação. Se o objetivo for gerar informações para a formulação de novas hipóteses, os experimentos devem ser configurados para gerar informações seguras, interessantes e

reveladoras. Se o objetivo da busca experimental for o teste de hipóteses, os experimentos realizados devem discriminar hipóteses plausíveis entre as rivais.

As hipóteses do indivíduo, seus conhecimentos prévios e os resultados experimentais anteriores determinam a maneira como ele interpreta as evidências e os dados obtidos pelos experimentos realizados. Essa interpretação determina se as evidências acumuladas através da experimentação são suficientes ou não para aceitar ou rejeitar as hipóteses formuladas.

Klahr e Dunbar argumentam que o modelo por eles desenvolvido, chamado de SDDS – Scientific Discovery as Dual Search – pode ser aplicado em qualquer situação na qual ocorra a formulação de hipóteses e a coleta de dados, caracterizando, portanto, a pesquisa científica como um conjunto de processos complexos e cíclicos, baseados na formulação de hipóteses, na experimentação e na avaliação de evidências. Cada um desses três processos, segundo o modelo SDDS e suas extensões (van Joolingen e de Jong, 1997) pode ser decomposto em sub-processos que são caracterizados de acordo com a atividade e a necessidade do refinamento teórico.

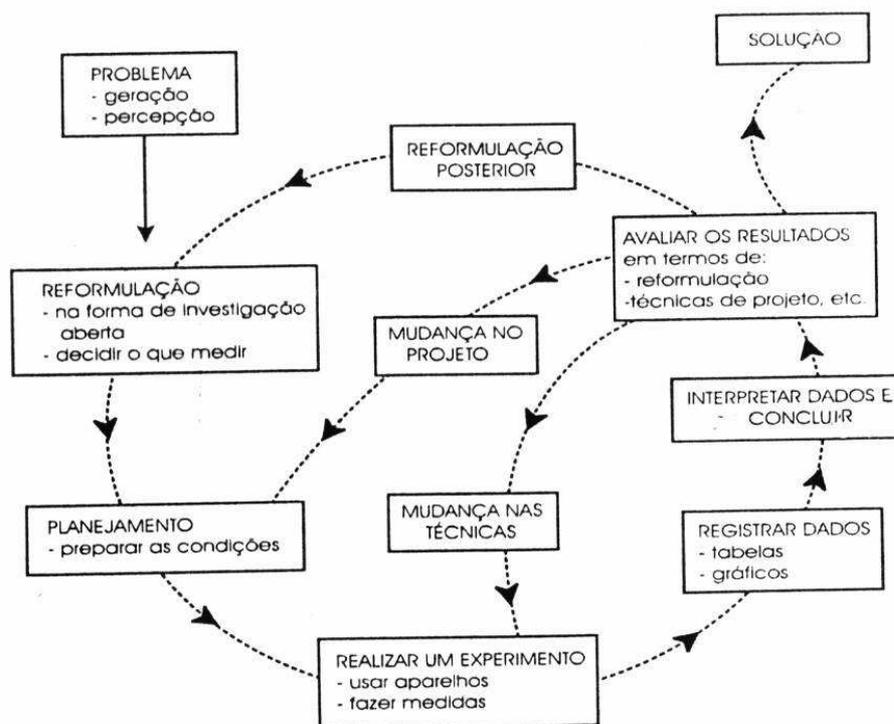
3.1.4 Conhecimento procedimental: habilidades ou conceitos?

Para Borges (2002) todo o processo de formulação, planejamento, experimentação e solução do problema prático é não linear. Durante as etapas de resolução do problema há ciclos de realimentação para as etapas anteriores, originadas da percepção da necessidade de mudanças no planejamento, na formulação do problema ou nas técnicas experimentais utilizadas, conforme ilustra a figura 3.1. Estudos do nosso grupo de pesquisa com alunos conduzindo atividades investigativas produziram evidências de que essas etapas não ocorrem de maneira seqüencial e de forma independente umas das outras, mas que, ao contrário, elas acontecem concomitantemente e de forma recursiva (Gomes e colaboradores, 1999; Borges e colaboradores, 2001, 2002). As realimentações ocorrem, em geral, devido à mudança de pensamento e de atitude do indivíduo frente a novas evidências e análises. Assim, o indivíduo retorna a uma etapa anterior, muda o problema e o plano, modifica suas estratégias de experimentação e obtém novos dados que serão interpretados, reiniciando o ciclo.

Ao observar as habilidades e os processos mobilizados durante a resolução de um problema prático, podemos perceber que os conhecimentos conceituais e procedimentais mobilizados pelos indivíduos durante uma atividade prática aparecem de forma imbricada e

dependentes uns dos outros, o que caracteriza os diferenciais e as dificuldades das atividades práticas.

Figura 3.1 – Etapas do processo de resolução de uma atividade prática segundo Borges (2002)



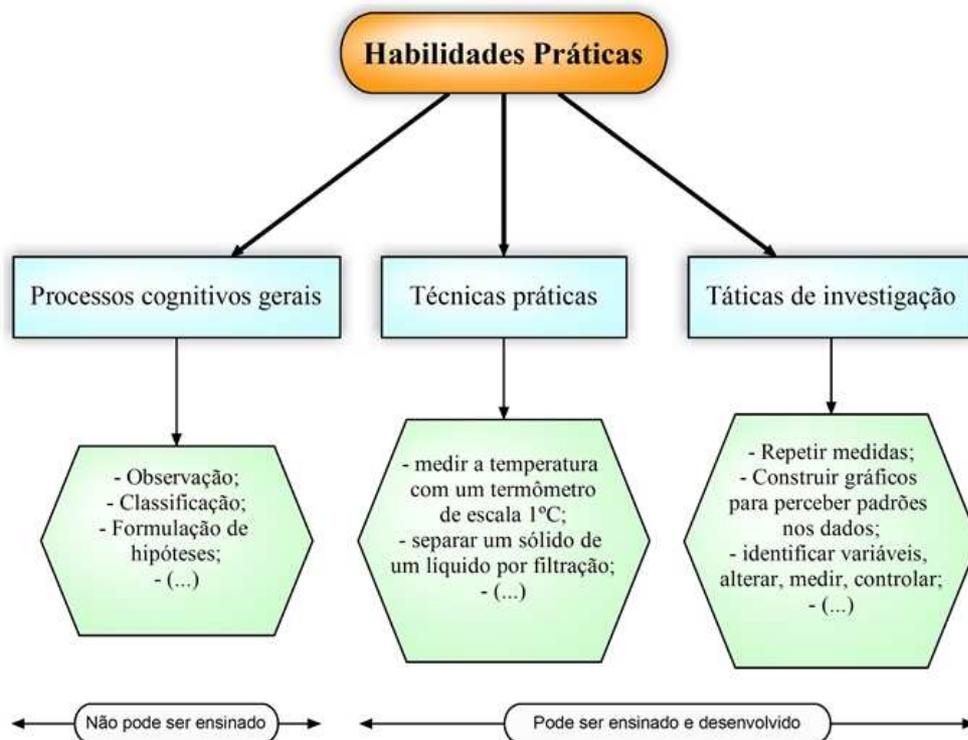
Uma das dificuldades da pesquisa sobre o conhecimento procedimental mobilizado pelos indivíduos durante a realização de atividades práticas é com relação à terminologia. Como apontam Gott e Duggan (1995), McCormick (1997) e Millar (1998), muita confusão é feita sobre os termos ‘processos’, ‘habilidades’, ‘capacidades’, ‘procedimentos’ e ‘métodos’², que são utilizados na literatura de forma indistinta, sem uma clara definição. Para Millar e colaboradores,

“uma compreensão do ‘fazer ciência’ é amplamente vista como importante, mas identificar os elementos de uma ‘boa performance’ independente de detalhes de conteúdo e contextos de uma dada investigação é muito difícil. Não há consenso sobre a natureza da compreensão envolvida na realização de atividades investigativas científicas nem uma terminologia aceita para a discussão de tais assuntos.” (Millar e colaboradores, 1994, p. 209).

² Na literatura de língua inglesa o problema com a terminologia é ainda maior. Há o termo ‘process skills’ que, para Gott e Duggan (1995) é um termo redundante.

Millar (1991) diferencia as habilidades práticas relacionadas com o laboratório escolar e com a atividade científica em três categorias diferentes conforme a figura 3.2. Segundo ele, muitos dos chamados processos da ciência, como observação e classificação são habilidades cognitivas gerais utilizadas diariamente, em diferentes contextos. Portanto, processos dessa natureza não podem ser ensinados. Podem apenas ser aprendidos e desenvolvidos por enculturação ou pela exposição a exemplos variados. Por outro lado, técnicas práticas podem ser ensinadas e referem-se às destrezas práticas relacionadas ao laboratório como, por exemplo, o conhecimento sobre a utilização e o manuseio de instrumentos de medidas e procedimentos padrões. A terceira categoria são as táticas de investigação, vistas como uma “caixa de ferramenta” de estratégias e formas de abordar os problemas práticos, que inclui a repetição de medidas, a construção de gráficos e tabelas para auxiliar na análise dos dados, a obtenção das médias das medidas realizadas, a determinação e o controle de variáveis relevantes ao problema etc.

Figura 3.2 – As habilidades práticas segundo Millar (1991).



Dessa forma, para Millar (1991), o desenvolvimento do conhecimento procedimental dos estudantes pode ser interpretado como as técnicas e as táticas de investigação que os estudantes adquirem ou desenvolvem ao longo de suas aprendizagens. Porém, ele conclui:

“muito trabalho ainda deve ser feito se desejamos um modelo para o conhecimento procedimental se comparado com aqueles que possuímos para o conhecimento conceitual em vários domínios da ciência.” (Millar, 1991, p. 52)

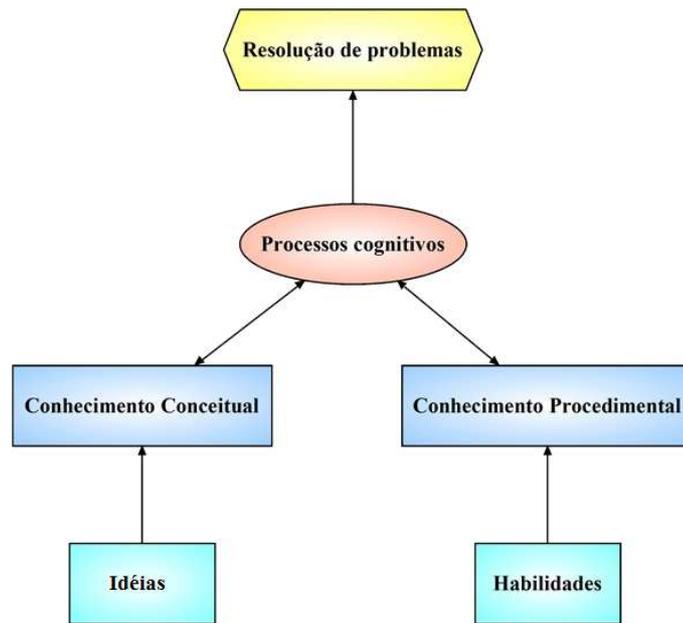
É preciso deixar de considerar os conhecimentos procedimental e conceitual como conhecimentos independentes e separáveis para adotar uma visão mais holística na qual os processos envolvidos numa atividade prática sejam produzidos, compostos e influenciados pelos conhecimentos procedimental e conceitual do indivíduo.

Na figura 3.3, está representado o modelo baseado nos trabalhos de Gott e Mashiter (1991) e Gott e Duggan (1995). Para esses autores, os processos cognitivos da figura 3.1 referem-se a essa interação envolvendo a seleção e a aplicação de fatos, habilidades e conhecimentos conceitual e procedimental. Os processos são os meios para se obter e processar as informações necessárias para lidar satisfatoriamente com o problema. Ou seja, os processos podem ser considerados como os vários ‘modos de pensamento’ que serão necessários para coordenar a compreensão conceitual e procedimental do indivíduo em um plano geral para a atividade. Assim, à medida que realiza a atividade, o indivíduo utiliza e desenvolve conceitos como força, aceleração e temperatura, enquanto utiliza e refina alguns elementos procedimentais da atividade como as estratégias para decidir o quê variar, medir e controlar e como fazer isso para obter resultados válidos e confiáveis.

Na última década, entretanto, houve uma mudança na concepção dos educadores e pesquisadores sobre o conhecimento procedimental dos estudantes durante a realização de atividades práticas. Vários pesquisadores passaram a enfatizar que o conhecimento procedimental do indivíduo não é composto apenas por técnicas práticas, destrezas manuais ou habilidades operacionais (Millar e colaboradores, 1994; Gott e Duggan, 1995, 2003; Duggan e Gott, 1995), mas é composto e influenciado, em boa medida, por conceitos e idéias, sobretudo as relacionadas à experimentação e à análise de evidências. Nas palavras de Lubben e Millar,

“ assumimos a posição de que o conhecimento procedimental na ciência, ‘saber como conduzir atividades práticas’, é substancialmente baseado em conhecimentos, no sentido que uma compreensão dos elementos centrais dos procedimentos experimentais pode ser articulado e é, portanto, parte do conhecimento declarativo do estudantes. Isso, no entanto, não significa que consideramos que todo conhecimento procedimental possa ser explicitado; escolhas e decisões sobre como combinar idéias diferentes em uma estratégia geral pode ser perfeitamente baseado sobretudo em conhecimentos tácitos.” (Lubben e Millar, 1996, p. 957).

Figura 3.3 – Processo de resolução de problemas e interação entre conhecimentos



Tal concepção rompe com a dicotomia entre os conhecimentos conceitual e procedimental, predominante nas pesquisas da área educacional e cognitiva, e sugere que tais conhecimentos não devem ser considerados isoladamente. Em seu trabalho Gott e Duggan (1995), cunharam o termo ‘conceitos de evidência’ para se referir aos conceitos associados ao conhecimento procedimental. Para eles, o termo focaliza a atenção na importância da compreensão de conceitos envolvidos no fazer ciência em relação às evidências como um todo. Os autores estruturaram esses conceitos em quatro fases do processo de experimentação: planejamento, medição, tratamento de dados e avaliação.

O quadro 3.1 define os conceitos de evidência para cada fase do processo de experimentação que serão abordados nesse trabalho.

Em trabalhos posteriores, os autores exploram a utilização do termo ‘conceitos de evidência’ (Duggan e Gott, 1995; Duggan, Johnson e Gott, 1996; Gott e Duggan, 2003; Roberts e Gott, 2003). Segundo eles, a separação dos conceitos em etapas não implica, necessariamente, na sua utilização apenas nas etapas correspondentes. Por exemplo, durante a etapa de tratamento dos dados, pode se decidir por coletar mais dados. Além disso, os conceitos de validade e de confiabilidade estão envolvidos em todas as fases do processo de experimentação. Para se avaliar a validade das evidências, é necessário considerações sobre o planejamento, o processo de medição e o tratamento dos dados que as sustentam.

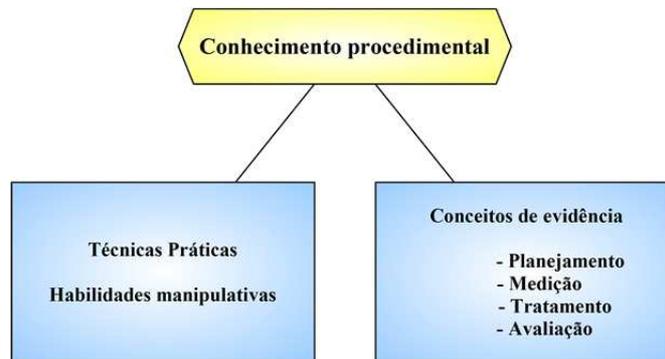
Quadro 3.1 – Os conceitos de evidência

Fases	Conceitos de evidência	Definição
Planejamento	Testes adequados e consistentes	Compreender a estrutura de um teste adequado e consistente em termos de controle de variáveis.
	Tamanho da amostra	Compreender a importância do tamanho de uma amostra ou de dados apropriados que permitam perceber variações e padrões.
Processo de medição	Reprodutibilidade	Compreender que a variabilidade associada ao processo de medição requer considerar a repetição das medidas.
Tratamento dos dados	Tabelas	Compreender que tabelas são mais que modos de representação de dados após a coleta, mas que servem para organizar coletas futuras e auxiliam na análise dos dados.
	Gráficos	Compreender que há uma relação próxima entre as representações gráficas, os tipos de variáveis e as relações que elas representam.
Avaliação da atividade	Confiabilidade	Compreender as implicações das estratégias do processo de medição para a obtenção de resultados confiáveis: pode-se acreditar nos dados coletados?
	Validade	Compreender a relação entre a forma como a atividade foi realizada e a validade dos resultados obtidos; uma visão geral da atividade para verificar se é possível responder a questão proposta.

De acordo com Lubben e Millar (1996), validade refere-se à questão de saber se o que se mede ou se observa é realmente aquilo que se deseja. Confiabilidade refere-se à questão da confiança em uma observação ou medida como uma boa representação daquilo que se deseja representar.

Posto isso, estamos em condição de propor nosso modelo de conhecimento procedimental que será utilizado ao longo deste trabalho. Acreditamos que o conhecimento procedimental é composto por diversos conceitos que influenciam as ações dos estudantes durante a realização das atividades e que podem ser explicitados como acontece com os conceitos que constituem o conhecimento conceitual. Tais conceitos seriam semelhantes aos ‘conceitos de evidência’. Acreditamos ainda que o conhecimento procedimental do indivíduo é composto por habilidades manuais e técnicas práticas, elementos essencialmente tácitos e de difícil explicitação. A figura 3.4 ilustra nossa concepção sobre o conhecimento procedimental.

Figura 3.4 – Modelo para o conhecimento procedimental mobilizado pelo indivíduo



Toda atividade prática implica na utilização e desenvolvimento das técnicas, habilidades e conhecimentos conceitual e procedimental durante o processo de resolução do problema. Portanto, ao longo da atividade, os conhecimentos conceitual e procedimental interagem, se influenciam, se modificam e governam as ações do indivíduo, enquanto os resultados da atividade também modificam e influenciam seus conhecimentos. A figura 3.5 representa essa interação entre os conhecimentos e o processo de resolução da investigação.

Figura 3.5 – Interação entre conhecimentos procedimentais e conceituais



Diversos trabalhos apresentam evidências sobre a interação entre os conhecimentos procedimental e conceitual, bem como a conseqüente influência dessa interação sobre o processo de execução de atividades práticas (Tschirgi, 1980; Penner e Klahr, 1996; Schauble, 1996). Também analisamos, em alguns trabalhos, a relação entre o conhecimento conceitual dos estudantes e suas estratégias e decisões durante a execução de atividades investigativas. Num primeiro trabalho, (Gomes e Borges, 2004) investigamos de que forma fatores como a complexidade da atividade, o conhecimento do tema e o modelo de causalidade entre variáveis afetam a capacidade de estudantes de realizar testes adequados e consistentes. Para isso, os participantes dessa pesquisa realizaram uma atividade investigativa por meio de uma simulação computacional, cujo objetivo era determinar os fatores que influenciam o tempo para uma esfera percorrer uma rampa. Os resultados da pesquisa sugerem que a complexidade da investigação e o modelo de causalidade das variáveis envolvidas no problema são fatores

importantes para definir e influenciar nas decisões e estratégias dos estudantes na atividade. Percebemos que a variável massa, cuja expectativa de causalidade era, erroneamente, forte entre as demais variáveis, foi o principal foco de atenção dos estudantes.

Em outro trabalho, (Gomes, Borges e Justi, 2005), realizado com os mesmos estudantes da pesquisa anterior, examinamos a capacidade dos estudantes de reconhecer e aplicar, em situações de sala de aula, testes experimentais adequados e consistentes. Os resultados indicam que quanto maior o conhecimento do domínio teórico, mais adequadas são as relações de causalidade entre as variáveis do problema desenvolvidas pelo estudante. Além disso, concluímos que a capacidade de reconhecer e utilizar bons testes está relacionada com o desempenho acadêmico e com o conhecimento do domínio teórico do estudante.

A figura 3.5 ilustra apenas a influência mútua entre os conhecimentos conceitual e procedimental e o processo de execução da investigação. Pesquisas (Millar e colaboradores, 1994; Gomes, 2005) apontam que outros fatores, igualmente importantes, também influenciam o desempenho dos indivíduos durante uma atividade. Um desses fatores é o reconhecimento do objetivo estabelecido para a atividade.

Um projeto de um grupo de pesquisadores britânicos (Millar e colaboradores, 1994) apresenta evidências empíricas que suportam a idéia de que o conhecimento procedimental é composto por diversos elementos conceituais que devem ser compreendidos pelos estudantes. Além disso, os resultados corroboram os indícios de que a compreensão dos objetivos da atividade e a forma como os estudantes a concebem influenciam diretamente nas suas ações e no seu desempenho durante a atividade.

A diferença entre o nosso modelo de conhecimento procedimental e o modelo utilizado por Millar e colaboradores é que, neste último, os autores consideram os objetivos que os indivíduos atribuem à atividade como parte integrante do conhecimento procedimental. Acreditamos, como foi relatado, que o entendimento dos objetivos da atividade é determinante para seu desenvolvimento, mas, não consideramos que isso faça parte do conhecimento procedimental.

Gomes, Borges e Justi (2008) identificaram uma relação entre o desempenho dos participantes na realização de atividades investigativas e a identificação correta dos objetivos da atividade. Durante a pesquisa, os 181 estudantes trabalharam em duplas para investigarem dois problemas implementados por meio de simulações computacionais. Após a realização das atividades, os alunos respondiam individualmente questões sobre os objetivos das mesmas. Os autores concluíram que as duplas que continham alunos que identificaram corretamente o objetivo da atividade tiveram um desempenho superior ao das duplas nas quais

ambos os alunos não conseguiram fazê-lo. O desempenho na atividade foi medido através da exploração do campo experimental e da habilidade de controlar variáveis, uma vez que todas as informações e manipulações dos alunos nas simulações foram gravadas em arquivos.

Alguns autores especulam que o fraco desempenho dos estudantes durante a realização de uma atividade prática e a dificuldade em reconhecer os reais objetivos da atividade são fruto de uma visão inadequada da ciência, da produção de conhecimento científico e do papel da experimentação na ciência (Millar e colaboradores, 1994; Gomes, 2005; Gomes, Borges e Justi, 2008). Outros pesquisadores (Songer e Linn, 1991; Stathopoulou e Vosniadou, 2007) apontam ainda que a visão que os indivíduos possuem sobre a ciência influencia diretamente em sua aprendizagem. Portanto, o desempenho dos estudantes durante uma atividade prática não é resultado apenas da interação entre seus conhecimentos conceituais e procedimentais. Também suas concepções sobre a ciência e sobre a experimentação e o seu papel para a construção do conhecimento científico podem exercer um papel fundamental.

Durante a realização de atividades práticas, alguns temas epistemológicos são particularmente importantes. Esses temas incluem a relação entre o conhecimento do indivíduo e os dados disponíveis, o propósito da atividade desenvolvida, as formas como as evidências podem ou não sustentar determinadas afirmações ou hipóteses propostas, a relação entre essas hipóteses e a qualidade dos dados coletados etc. Porém, segundo Leach (1998), apesar de importantes, esses temas não são devidamente abordados e tratados durante as atividades e permanecem, na maioria das vezes, tácitos.

A figura 3.6 ilustra o conhecimento procedimental como o concebemos e a influência da visão da ciência que o indivíduo possui nas diversas etapas do processo de resolução de uma atividade prática. Nessa figura, tal processo é representado de forma linear, sem as retroalimentações presentes na figura 3.1 apenas para simplificar a representação, pois temos consciência de que o processo de execução de uma investigação não é linear como representado. Assim, na figura 3.6, estão representadas as principais etapas do processo de execução de uma atividade prática, também presentes na figura 3.1, que coincidem em boa medida com as etapas identificadas por Gott e Duggan (1995) para a descrição dos conceitos de evidência.

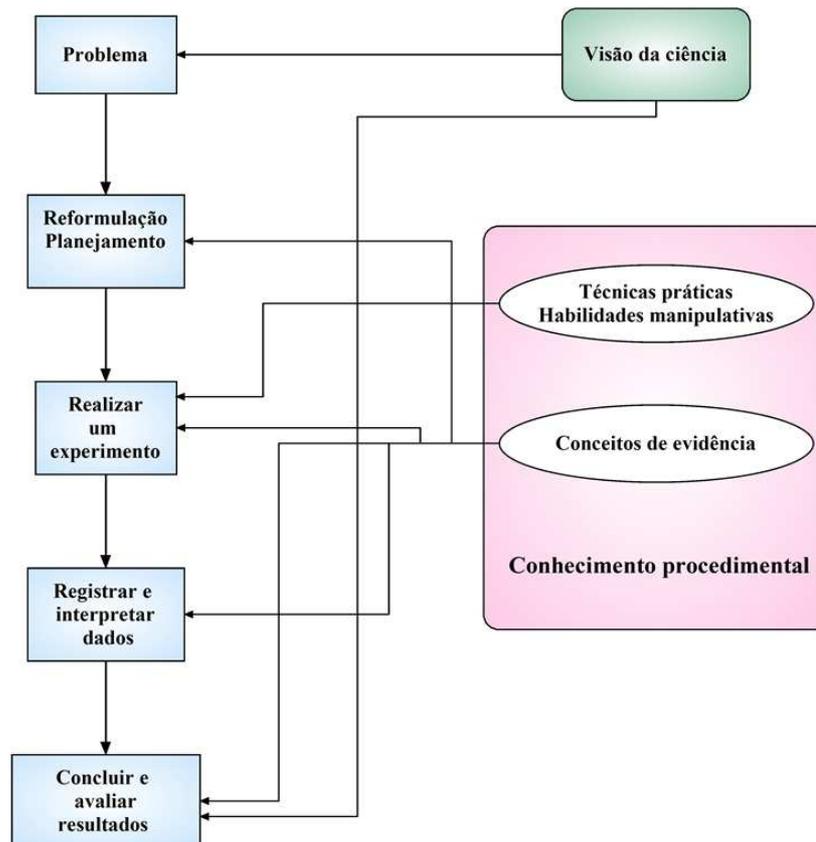
Argumentamos que a visão da ciência que o indivíduo possui exerce, provavelmente, maior influência durante os processos de formulação e de conclusão do problema, quando os resultados finais são confrontados e avaliados de acordo com os objetivos propostos. Nas demais etapas, o conhecimento procedimental também exerce influência, sendo que as

habilidades manipulativas e técnicas práticas são fundamentais nas fases de experimentação e de coleta de dados.

Os conceitos de evidência estão presentes em todas as etapas seguintes à formulação do problema, quando o indivíduo identifica variáveis relevantes, planeja a coleta de dados, realiza observações e testes experimentais, obtém e registra os dados, analisa as evidências, faz inferências e conclui a atividade. Na figura 3.6, não ilustramos a influência do conhecimento conceitual por não ser o foco deste trabalho, mas admitimos que haja tal influência em todas as etapas do processo.

Na seqüência, revisamos os trabalhos que abordam os aspectos do conhecimento procedimental e dos conceitos de evidência presentes nas quatro fases de uma atividade prática identificadas por Gott e Duggan (1995). Analisaremos ainda, no capítulo 4, os trabalhos que buscam identificar as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência e a sua influência na execução das atividades.

Figura 3.6 – A influência do conhecimento procedimental e da visão da ciência no processo de resolução de problemas



3.2 Os conceitos de evidência

Gott e Duggan (1996) argumentam que, para se tornar um indivíduo cientificamente alfabetizado, o estudante deve desenvolver uma série de conhecimentos sólidos e habilidades relacionadas com a obtenção, validação, representação e interpretação de evidências. Em uma série de artigos, Gott, Duggan e colaboradores definem e exploram o que denominaram de ‘conceitos de evidência’. Para eles, tais conceitos relacionam-se com o processo de produção e avaliação de evidências durante a realização de atividades práticas e tomada de decisões em situações do dia-a-dia. Os conceitos foram estruturados em quatro fases do processo de experimentação: planejamento, medição, tratamento de dados e avaliação (quadro 3.1).

Jeong, Songer e Lee (2007) também definem um termo semelhante: ‘competência evidenciária’, que se refere aos conceitos, raciocínios e habilidades necessárias para, além de se coletar dados confiáveis, válidos e de maneira adequada, organizá-los e interpretá-los para serem utilizados na avaliação de evidências, teorias e explicações. O quadro 3.2 descreve, de maneira sintetizada, os conceitos e as habilidades propostos pelos autores.

Quadro 3.2 – Competência evidenciária

Fase da investigação	Competência	Definição
Planejamento	<i>Operacionalização</i>	Operacionalizar as variáveis de forma que seu efeito possa ser avaliado.
	<i>Testes adequados e consistentes</i>	Saber implementar testes experimentais adequados e não controversos.
	<i>Tamanho da amostra</i>	Compreender a importância do tamanho de uma amostra e planejar a coleta de um número adequado de dados.
Execução	<i>Reprodutibilidade</i>	Compreender a variabilidade e a incerteza associada ao processo de medição e buscar a confiabilidade dos dados por meio da repetição.
	<i>Execução da coleta de dados</i>	Executar apropriadamente os procedimentos experimentais, de acordo com a ordem e o momento.
Interpretação	<i>Tabelas</i>	Identificar padrões e localizar informações em tabelas.
	<i>Gráficos</i>	Identificar padrões e informações em representações gráficas.

Segundo os autores, para que possam produzir e lidar com as evidências durante as atividades experimentais, os estudantes devem desenvolver um entendimento amplo sobre todo processo de investigação, sobretudo, nas fases de planejamento, execução e

interpretação, além de desenvolverem uma compreensão adequada do processo de coleta e análise de dados. Se os estudantes falham ao utilizar os instrumentos de maneira adequada, não planejam a coleta dos dados e não os obtêm por meio de um controle efetivo das variáveis, a qualidade dos dados ficará certamente comprometida. Os estudantes também devem desenvolver a compreensão da importância do planejamento da coleta de dados, pois as decisões tomadas durante a fase de planejamento afetarão a validade e a confiabilidade das informações produzidas.

Podemos ver que, apesar de Jeong, Songer e Lee considerarem apenas três as fases do processo de investigação, os conceitos de evidência identificados por esses autores são bem semelhantes aos identificados por Gott e Duggan (1995). Além disso, Jeong, Songer e Lee também argumentam que o agrupamento das competências nas três fases é meramente organizacional e reforçam a idéia de que durante todo o processo de experimentação o indivíduo pode fazer uso de qualquer competência descrita no quadro 3.2.

Existe hoje uma enorme diferença quanto às atividades e atuações das pessoas envolvidas na comunidade científica. Mas uma, em especial, merece grande destaque. As atividades de coletar, analisar e interpretar dados estão presentes em grande parte da atividade científica e fundamentam toda pesquisa baseada em dados experimentais. Mas, quando se fala em coletar dados e avaliar evidências, há, ainda, uma atividade mais básica que perpassa por todos os estudos científicos quantitativos: a mensuração. Efetuar uma medida é o ato de quantificar um determinado atributo do sistema. Tal ato é baseado na interação entre o ente físico do sistema que desejamos medir e o instrumento que utilizamos para efetuar a medida.

Na ciência, dados são utilizados para avaliar hipóteses. Engenheiros utilizam tabelas de medidas para tomar decisões quanto aos projetos. Economistas e cientistas sociais utilizam medidas para descobrir tendências e fazerem previsões. A utilização de dados científicos não é limitada a pesquisadores, técnicos e engenheiros. O público em geral também é responsável por interpretar informações científicas e tomar decisões baseadas em resultados de estudos experimentais. A qualidade de todas as decisões baseadas em dados depende em grande parte de dois componentes: a qualidade das medidas efetuadas e da estimativa da incerteza sobre esses dados.

Há um bom tempo, educadores e professores em ciências já reconhecem a importância e o papel que o processo de mensuração e os conceitos a ele relacionados possuem na ciência. Além disso, a importância de uma boa compreensão sobre o processo de medição vem sendo destacado na literatura e em documentos curriculares (AAAS, 1990; Gott e Duggan, 2003).

Apesar de ser fundamental para o desenvolvimento da ciência e para a formação de uma sociedade crítica, é relativamente pequena a atenção que é dada na pesquisa em educação em ciências, para as concepções e habilidades dos estudantes envolvidas na coleta e interpretação dos dados e de seus conceitos adjacentes.

O laboratório de ciências, especialmente o de física, poderia fornecer a oportunidade para os estudantes aprenderem sobre o processo de medição. Na maioria das atividades práticas desenvolvidas nesses laboratórios, os estudantes efetuam medidas constantemente. Os dados obtidos são utilizados para calcular outras grandezas para se testar ou formular hipóteses sobre o mundo natural. Questões sobre a confiabilidade, ou o grau de similaridade/disparidade entre dois conjuntos de dados parecem surgir naturalmente, o que levaria os estudantes a desenvolver uma melhor compreensão do processo de medição e dos conceitos correlacionados.

Apesar de sua grande importância, nem todos os conceitos relacionados com a produção e análise das evidências vêm sendo pesquisados sistematicamente. As poucas pesquisas na área apontam que os estudantes, em todos os níveis de ensino, possuem grandes dificuldades com relação aos conceitos envolvidos no processo de medição (Seré, Journeaux e Larcher, 1993; Allie e colaboradores, 1998; Coelho e Seré, 1998). É importante notar que os conceitos associados ao processo de medição têm relação com as decisões sobre as medidas e não com as habilidades e destrezas manuais e operacionais para se manusear equipamentos. Sendo assim, numa atividade sobre a influência da massa no período de um pêndulo, os conceitos de evidência não estão associados com a habilidade de manusear o cronômetro (considerada como habilidade manipulativa), mas sim, com as decisões sobre, por exemplo, quantas medidas do período serão feitas para cada massa ou quantas massas diferentes serão utilizadas. São decisões desse tipo que refletem a compreensão do indivíduo sobre o processo de medição.

3.2.1 Conceitos relacionados ao planejamento: tamanho da amostra

O número de medidas diferentes realizadas em um experimento está relacionado diretamente com o tamanho da amostra e com o intervalo entre as medidas em um conjunto de dados. Supondo que algum estudante deseja determinar a relação entre duas variáveis contínuas (que podem ser representadas por qualquer número real), ele precisa modificar a variável independente para produzir um certo número de valores distintos na variável dependente, de forma que estes valores sejam separados por um intervalo apropriado e

distribuídos de forma mais ou menos homogênea dentro dos limites de medição estabelecidos. Caso isso não ocorra, a relação entre as variáveis poderá não ser corretamente identificada.

Pesquisas indicam que grande parte dos estudantes, sobretudo do ensino fundamental e médio, não dão a devida atenção às questões relativas ao número de dados a serem coletados, aos limites e aos intervalos de medição quando planejam e executam atividades práticas (Gott e Duggan, 1995). Além disso, como veremos adiante, muitos estudantes pensam que o fato de se repetir medidas é perda de tempo ou apenas uma forma de conferir o resultado anterior (Lubben e Millar, 1996).

Séré, Journeaux e Larcher (1993) trabalharam com estudantes universitários num curso de física na França, no qual o objetivo da seqüência de ensino e do próprio laboratório era ensinar e trabalhar os conceitos envolvidos no processo de medição. Vinte estudantes participaram da pesquisa, realizando atividades relacionadas a temas de óptica e circuitos elétricos. Os autores observaram o comportamento dos estudantes durante o laboratório, analisaram seus relatórios e o exame final realizado. Além disso, entrevistaram quatro estudantes com o objetivo de identificar a compreensão dos mesmos sobre os conceitos trabalhados. Os autores perceberam que, em geral, os estudantes demonstraram proficiência em aplicar certos procedimentos algorítmicos, mas demonstraram pouca compreensão sobre o que realmente faziam e o porque. Os estudantes repetiam medidas, sobretudo, quando acreditavam que tinham motivos para descartar a primeira medida. Mesmo realizando várias medidas, os estudantes preferiam, normalmente, o primeiro dado coletado ou o valor mais recorrente como o valor mais representativo do conjunto dos dados. Os autores puderam identificar também que cerca da metade dos estudantes:

- compreendia que a realização de mais medidas conduz a melhores resultados, mas não tinham certeza do que isso significava;
- colocava maior confiança no primeiro resultado ou no resultado que mais se repetia quando avaliavam uma série de dados coletados;
- reportava apenas a precisão do instrumento quando solicitados para reportarem a dispersão dos dados;
- considerava como um “resultado ruim” aquele que possuía grande desvio padrão, mas não consideravam as fontes de erros e os erros sistemáticos.

3.2.2 Conceito relacionado ao planejamento: testes adequados e consistentes

Um tema que envolve a validade do planejamento experimental é a medida na qual as mudanças percebidas na variável dependente podem ser atribuídas às mudanças propositalis nos valores de alguma variável independente. O estabelecimento de relações causais entre duas variáveis requer que as demais sejam controladas para que não interfiram no resultado.

Inhelder e Piaget (1976), por exemplo, vêem o controle de variáveis como uma habilidade intelectual geral e marco do desenvolvimento cognitivo do indivíduo. Os autores acreditavam que o indivíduo desenvolve o conceito de controle de variáveis entre os 11 e 15 anos de idade (estágio operacional formal). Porém, pesquisas subseqüentes mostraram que muitos adolescentes e adultos não entendem adequadamente a lógica e a importância do controle de variáveis, falhando no seu reconhecimento e implementação (Chen e Klahr, 1999; Klahr, 2000; Gomes, 2005).

Preferimos chamar um experimento no qual ocorre o correto controle de variáveis de teste experimental adequado e consistente (Gomes, 2005). Esse teste é aquele que toma as variáveis propostas numa situação-problema e as manipula de maneira similar ao que Chen e Klahr (1999) definem como estratégia de controle de variáveis (ECV). O teste é adequado se a variável cujo efeito deseja-se conhecer é tomada como variável independente. O teste é consistente se apenas essa variável independente se modifica entre duas ou mais repetições do teste experimental, sendo que todas as outras variáveis independentes são mantidas inalteradas.

A definição de teste adequado e consistente apresentada acima é, na maioria das vezes, suficiente para analisar situações comuns de teste de hipóteses no laboratório escolar. Se o indivíduo a domina, ele deve ser capaz de planejar testes experimentais nos quais apenas a variável em foco, aquela cujo efeito deseja-se determinar, é alterada, e as demais são mantidas constantes. Além disso, deve mostrar-se capaz de rejeitar experimentos inconsistentes, nos quais tal situação não ocorre.

Enfatizamos aqui, que a estratégia de controle de variáveis comporta aspectos operacionais e lógicos. Do ponto de vista operacional, significa que o indivíduo tem domínio operativo e consegue implementar testes adequados e consistentes. Do ponto de vista lógico, ter domínio de um ECV significa estar habilitado a fazer inferências a partir dos resultados dos testes adequados e consistentes e, ao mesmo tempo, reconhecer a importância desses para a obtenção de resultados confiáveis e analisáveis.

Quando o controle de variáveis não é consistente, os estudantes geralmente (i) não reconhecem a variável dependente e quais são as variáveis independentes relevantes para a solução do problema. Isso faz com que desloquem sua atenção para variáveis irrelevantes para a solução do problema ou tratem parâmetros constantes como se fossem variáveis (Borges, Borges e Vaz, 2001); (ii) não controlam ou não determinam a influência de outras variáveis causais. Ambos podem resultar no uso de estratégias de controle de variáveis ineficientes, isto é, estratégias que possuem falhas lógicas ou metodológicas e que, ao final, contribuem para o insucesso na realização da atividade já que suas conclusões e soluções ficam comprometidas.

Para Schauble,

“a medida na qual um determinado indivíduo utiliza uma estratégia válida depende da forma como esta estratégia está disponível, e a grande variabilidade de performances indica que nem todos os indivíduos possuem capacidades iguais de gerar experimentos conclusivos ou de realizar comparações válidas e de interpretar apuradamente as evidências.” (Schauble, 1990, p. 55).

Em uma série de artigos, examinamos a habilidade de estudantes em reconhecer testes experimentais adequados e consistentes, distinguindo-os de testes inconsistentes e controversos, através de análises quantitativa e qualitativa. Pudemos identificar alguns fatores que influenciaram alunos do 8º ano do ensino fundamental e do 2º ano do ensino médio na avaliação da adequação de dois conjuntos de experimentos para testar o efeito de determinada variável independente sobre outra dependente (Gomes e Borges, 2002; 2003; Borges e Gomes, 2005).

Os resultados obtidos sugerem que estudantes mais velhos e com maior escolaridade apresentam um domínio maior de uma estratégia adequada de controle de variáveis, reconhecendo melhor a importância da utilização de testes adequados e consistentes. Encontramos também dependência desta habilidade com relação ao fenômeno explorado e ao modo como ele é apresentado. Fatores como o entendimento que os estudantes têm sobre o domínio teórico e os objetivos da atividade realizada tiveram uma influência significativa na sua realização. Nossos resultados sugerem ainda que a dependência desses fatores para o reconhecimento de testes adequados e consistentes diminui com a idade e a escolarização do indivíduo. Ambos os grupos de estudantes apresentaram uma porcentagem baixa de alunos coerentes, o que pode revelar que a maioria dos alunos não identificou as semelhanças entre os experimentos dos problemas quando os avaliou.

A sofisticação nas estratégias de investigação, de uma forma geral, se desenvolve com a idade e escolaridade (Schauble 1990, 1996; Chen e Klahr, 1999; Borges e Gomes, 2005). Crianças mais novas geralmente manipulam apenas os fatores que elas acreditam que afetarão a variável dependente e falham ao não manter outros fatores constantes. Elas geralmente preferem confiar em seus conhecimentos prévios quando confrontadas com evidências que contrariam suas concepções ou hipóteses. Com crianças mais velhas e adolescentes, isso é mais difícil de acontecer, pois a facilidade de revisar e modificar seus conceitos e modelos é maior. Entretanto, como já observado, apesar de desenvolverem novas e melhores estratégias, os indivíduos não abandonam imediatamente as que se mostram menos eficientes.

Nos trabalhos de Schauble podemos perceber a íntima relação entre o desenvolvimento do conhecimento do domínio teórico envolvido e o aperfeiçoamento das estratégias de investigação. Isso significa que o aumento na sofisticação do pensamento científico, quer em crianças ou em adultos, envolve não apenas a mudança de estratégias de experimentação, mas, também, o desenvolvimento do conhecimento teórico, reforçando, assim, a interdependência entre os conhecimentos conceituais e procedimentais discutida na seção 3.1.4.

3.2.3 Conceito relacionado ao processo de medição: a reprodutibilidade dos dados experimentais

Qualquer processo de medida, quando repetido sistematicamente, produz uma série de valores e para se analisar tais resultados é preciso uma compreensão sobre os limites desses valores, a dispersão dos dados obtidos e também, sobre as causas dessa variabilidade. A interpretação dos resultados depende portanto, não apenas do valor médio e da avaliação da dispersão dos dados, mas também, das considerações sobre as possíveis fontes de erros e perturbações provocadas no sistema.

Mas, os estudantes reconhecem a necessidade de se repetir medidas? Quais as suas reações ao obterem dados diferentes entre si? Os estudantes compreendem e conseguem avaliar a dispersão dos dados? A pesquisa com estudantes no ensino fundamental aponta que a necessidade da repetição das medidas não é bem compreendida (Carey e colaboradores, 1989; Schauble, 1996; Varelas, 1997). Schauble (1996) examina como estudantes do ensino fundamental lidam com a variabilidade dos valores obtidos resultantes de erros experimentais e erros de medida. No seu trabalho, crianças entre 10 e 13 anos trabalharam em dois sistemas

envolvendo líquidos e objetos submersos com o objetivo de determinar a influência das variáveis envolvidas. Como resultado, Schauble aponta que as crianças participantes não mencionaram nos seus planos de investigação a necessidade de repetição de medidas. Elas acreditavam que a medida inicial é a ‘correta’. Quando as crianças repetiam as medidas, elas demonstravam ficar confusas e surpresas até mesmo com pequenas diferenças entre os valores. Schauble também ressalta a dificuldade das crianças em distinguir variações de medidas devido a erros experimentais das variações provocadas devido às mudanças em determinada variável causal.

De mesmo modo, Varelas (1997) obteve que estudantes entre 9 e 10 anos possuem a visão de que para uma mesma condição experimental, apenas um resultado para as medidas é possível. Estudantes que reconhecem que pequenas variações podem ocorrer (sobre condições experimentais equivalentes) não ficam tão preocupados com a obtenção de valores distintos para uma mesma medida, em comparação com aqueles estudantes que possuem a visão mais ingênua do processo de experimentação.

Warwick e colaboradores (1999) obtiveram que até mesmo crianças de 11 anos podem demonstrar alguma noção sobre a necessidade de se repetir a coleta de dados, mas, normalmente, com a intenção de repetir “para ter certeza de que estamos fazendo corretamente”.

Para estudantes do ensino médio, a situação não é tão melhor. Muitos estudantes reconhecem a necessidade de se repetir as medidas, mas poucos conseguem articular uma razão para tal procedimento (Gott e Duggan, 1995, Lubben e Millar, 1996). A situação é semelhante com estudantes no ensino superior (Seré, Journeaux e Larcher, 1993; Allie e colaboradores, 1998). Muitos estudantes possuem a concepção de que repetir medidas é apenas uma atividade de rotina para que se possa efetuar o cálculo da média dos valores medidos.

Lubben e Millar (1996) identificaram as concepções de mais de mil estudantes de onze, treze e quinze anos sobre o processo de medição. O teste aplicado versava principalmente sobre a compreensão dos estudantes sobre a validade e reprodutibilidade dos dados obtidos através de medidas. Dentre as seis questões que compunham o teste, havia questões sobre a razão de se repetir ou não as medidas, formas de lidar com resultados muito

diferentes dos demais e o significado da variação dos resultados³. As respostas a cada pergunta foram analisadas utilizando um sistema de codificação desenvolvido a partir do conjunto de respostas disponíveis. Esse sistema de codificação tinha por objetivo descrever formas comuns de raciocínio dos estudantes sobre os assuntos em cada uma das questões.

Como resultado da pesquisa, Lubben e Millar propõem uma série de níveis hierárquicos para a compreensão dos estudantes sobre o processo de medição (quadro 3.3)⁴.

Quadro 3.3 – Níveis de compreensão do processo de medição segundo Lubben e Millar (1996)

Níveis	Visão do processo de medição	Como avaliar o resultado	O que fazer com os resultados que diferem significativamente dos demais
A	O processo de medição é direto: mede-se uma vez e obtém-se o valor correto.	Não é uma questão. As medidas são corretas.	Não é uma questão.
B	Mede-se apenas uma vez e o resultado é sua medida correta. Repetir medidas apenas trará confusão.	A menos que algo óbvio tenha saído errado, a medida que foi feita está correta. Em contextos familiares, o resultado é aquele esperado.	Não é uma questão.
C	Se utilizar equipamentos sofisticados e adequados, suas medidas serão certas. Faça algumas medidas iniciais e quando estiver familiarizado com o equipamento, faça a medida correta.	A menos que algo óbvio tenha saído errado, a medida que foi feita após algum treinamento está correta. Em contextos familiares, o resultado é aquele esperado.	Ignora-se. (As diferenças que ocorreram foram devido à falta de prática.
D	Se utilizar equipamentos sofisticados e adequados, suas medidas serão certas. Deve-se repetir medidas até encontrar o mesmo valor.	Obtendo-se dois dados iguais significa que as medidas foram feitas com cuidado suficiente.	Ignora-se.
E	Deve-se repetir as medidas e calcular a média. Mas repetir as medidas da mesma forma resultará nos mesmos resultados. Deve-se variar um pouco as condições.	Variações são esperadas. Não são problemas.	Variações são esperadas. Deve-se incluir todos os dados e calcular a média.
F	Medidas cuidadosas podem chegar próximas do valor correto	Não pode ser avaliado ‘em si mesmo’. O único método é	Incluem-se os dados anômalos no cálculo da

³ Nessa seção, trataremos apenas a questão da reprodutibilidade dos dados experimentais e das pesquisas que analisam o comportamento dos estudantes frente às variações dos dados medidos. Na próxima seção analisaremos os resultados de como os estudantes analisam, avaliam e tratam o conjunto de dados.

⁴ A taxonomia original de Lubben e Millar (1996) consta apenas de 8 níveis (A-H). O nível I foi proposto por Allie e colaboradores, como será apresentado a diante.

	da grandeza medida, mas nunca se saberá qual o valor correto. Tira-se a média, que representará tal valor.	checar com alguma fonte de autoridade (professor, livro etc).	média, pois tira-se a média para levar em consideração essas variações.
G	Como o nível anterior	Pode ser avaliado ‘por dentro’. O intervalo de dados é uma indicação.	Como o nível anterior
H	Como o nível anterior	Como o nível anterior	É apropriado realizar uma avaliação do conjunto de dados e rejeitar dados anômalos antes de calcular a média. A média de um conjunto de dados pode ser, portanto, melhor que a média de outro conjunto.
I	A consistência dos conjuntos de dados pode ser comparada pela posição relativa de suas médias, juntamente com suas respectivas dispersões.		

Cada nível é especificado por três idéias básicas: a visão sobre o processo de medição; o modo para se avaliar o resultado obtido; e o método para se identificar e tratar os resultados anômalos. A progressão na compreensão dos estudantes parte do não reconhecimento da necessidade de realizar outras medidas, passa pela procura por resultados recorrentes e uma modificação deliberada das variáveis para garantir a variação nos resultados e alcança a compreensão da determinação da variação e da dispersão dos dados, aspectos feitos inicialmente mais como uma rotina das aulas experimentais, sem a devida compreensão.

As respostas obtidas nas questões fornecem indícios da existência dos oito níveis identificados por Lubben e Millar e este modelo torna-se assim, uma ferramenta importante para classificar as ações e idéias dos indivíduos sobre a reprodutibilidade dos dados. Porém, os autores enfatizam que não obtiveram informações sobre como os indivíduos progredem entre esses níveis. Enquanto pode-se esperar uma progressão natural com a idade e escolarização entre os níveis, não se acredita que o estudante progrida de forma linear e homogênea, podendo ‘saltar’ níveis ou estar localizado em dois níveis ao mesmo tempo.

3.2.4 Conceitos relacionados à construção e interpretação de gráficos e tabelas

O domínio e a utilização efetiva de formas de representações em matemática e em ciências têm merecido grande atenção por parte dos elaboradores de currículos nos últimos

anos (Roth, Pozzer-Ardenghi e Han, 2007). Dentre as diversas formas disponíveis, a representação gráfica tem um papel fundamental. Um gráfico pode, de maneira eficiente, resumir uma grande quantidade de informação. Na matemática, o ensino sobre a construção e interpretação de gráficos tem um fim em si mesmo. Mas muitas áreas como as ciências naturais e sociais, utilizam também formas de representação gráfica para, principalmente, demonstrar relações entre variáveis. Uma das razões da ampla utilização de representações gráficas em todas as áreas do conhecimento é a possibilidade de comunicar informações principalmente quantitativas de forma mais fácil e compreensível. O gráfico é uma forma de representação na qual os indivíduos utilizam informações espaciais para fazer inferências sobre relações não espaciais e conceitos (Gattis e Holyoak, 1996).

A importância da compreensão de gráficos no mundo atual tem sido reconhecida internacionalmente por diversos documentos relativos ao currículo de matemática e de ciências, em todos os níveis (AAAS, 1990; Friel, Curcio e Bright, 2001). No Brasil, tal conteúdo passou a ser previsto pelos parâmetros curriculares de matemática ainda no ensino fundamental.

Sabemos que ler, interpretar ou construir uma tabela ou uma representação gráfica não é tarefa tão imediata. A leitura exige de parte do leitor certa familiaridade, e também domínio, do modo de representação utilizado. Ler, interpretar, analisar e julgar, ou organizar dados em gráficos e tabelas significa, antes de tudo, dominar o próprio funcionamento representacional. Mas, então, podemos perguntar: como compreender a complexidade da organização visual da informação e da comunicação em representações gráficas?

Roth e colaboradores e outros pesquisadores (Roth and McGinn, 1997; Bowen e Roth, 2005; Roth, Pozzer-Ardenghi e Han, 2007; Wu e Krajcik, 2006) sugerem que a compreensão de gráficos e a aquisição de habilidades relativas à sua interpretação e construção são questões de prática e de familiaridade com as representações e com o domínio teórico e não habilidades cognitivas. Os autores utilizam o termo inscrições para se referirem às diversas formas de representações como gráficos, diagramas, tabelas, símbolos, mapas e modelos.

As pesquisas indicam que o entendimento dos estudantes sobre os principais aspectos que envolvem a representação gráfica é limitado e que crianças, jovens e adultos cometem erros sistemáticos ao ler e interpretar gráficos, especialmente quando o gráfico não representa explicitamente a informação quantitativa desejada (McDermott, Rosenquist e van Zee, 1987; Beichner, 1994; Shah, Mayer e Hegarty, 1999; Shah e Hoeffner, 2002). Além disso, muitos estudantes não conseguem aplicar o conhecimento de gráficos e funções aprendido em aulas

de matemática em atividades relacionadas com a física ou outras áreas (McDermott, Rosenquist e Van Zee, 1987; Woolnough, 2000; Forster, 2004).

Leinhardt, Zaslavsky e Stein (1990) realizam uma ampla revisão sobre as ações e os significados associados ao trabalho com gráficos e funções e concluíram que a maioria das ações relacionadas a gráficos e funções pode ser classificada em interpretação e construção e que essas não são categorias mutualmente exclusivas. Mevarech e Kramarsky (1997) também argumentam que os gráficos envolvem interpretação e construção e acrescentam que interpretar normalmente refere-se a habilidade de ler gráficos ou suas partes, e buscar sentidos neles.

3.2.4.1 Interpretação gráfica

A atividade de interpretação, segundo Leinhardt, Zaslavsky e Stein (1990), refere-se à ação através da qual o indivíduo extrai sentido do gráfico ou percebe as informações contidas nele ou em parte dele. A interpretação pode ser global ou geral, ou ela pode ser local ou específica. Outra dimensão ao longo da qual a ação de interpretação pode ser analisada é se a interpretação é qualitativa ou quantitativa. Uma interpretação quantitativa requer a compreensão sobre a relação entre as variáveis presentes no gráfico e, em particular, os padrões de covariações. Já a interpretação qualitativa está, normalmente, associada às características globais do gráfico. As interpretações dependem de vários fatores e estão sujeitas às simplificações ou generalizações, e também a confusões e erros.

O principal componente do processo pessoal de interpretação de representações gráficas é o relacionamento das características do gráfico com seus referentes. Há vários aspectos gerais em um gráfico que podem ser interpretados. Dentre eles, a forma geral do gráfico, os intervalos de crescimento e decrescimento, os pontos de máximos e mínimos, os intervalos de valores positivos e negativos etc. Além disso, o tipo de gráfico, o seu conteúdo e os conhecimentos prévios do indivíduo determinam, de maneira significativa, a forma como esse indivíduo analisa e interpreta o gráfico.

3.2.4.2 Construção gráfica

Em relação à construção, Leinhardt, Zaslavsky e Stein (1990) consideram que construir significa gerar algo novo, o que exige do indivíduo habilidades relacionadas com a seleção de dados, nomes dos eixos, escala, identificação da unidade e a inserção de pontos.

Segundo os autores, construir é diferente de interpretar. O ato de interpretar baseia-se ou requer reações a dados previamente fornecidos e o ato de construir requer a geração de partes previamente não disponíveis.

É importante ressaltar que a interpretação e a construção gráfica compartilham uma série de características. Nas duas, as ações podem acontecer em qualquer um dos três espaços (gráfico, algébrico e situacional) ou mover de um espaço para outro. Ainda, tanto a construção quanto a interpretação podem variar de acordo com as demandas da atividade (local-global; quantitativa/qualitativa). Considerando-se a relação entre ambas, pode-se perceber que enquanto a interpretação não necessita de nenhuma construção, o inverso não ocorre, pois a construção, normalmente, já implica em algum tipo de interpretação, o que torna ainda mais complexa a tarefa de se construir um gráfico.

Tabelas podem ser utilizadas para organizar as informações e dados como um passo intermediário para se construir uma representação gráfica. Portanto, a construção de tabelas é uma habilidade importante e não pode ser dissociada do processo de construção gráfica.

Baseados em dados de sua revisão, Leinhardt, Zaslavsky e Stein (1990) propõem que as ações de construir e interpretar os gráficos envolvem atividades como previsão, classificação, tradução e escala.

A previsão refere-se à ação de estimar, dado parte do gráfico ou pontos a ele pertencentes, onde outros pontos (às vezes não fornecidos) do gráfico se localizam ou como outras partes do gráfico devem ser. O modo como o indivíduo constrói um gráfico depende de como ele pensa a forma do gráfico. Para se fazer uma extrapolação ou interpolação, também precisamos estimar o valor procurado. A classificação refere-se às ações de reconhecer se determinada relação representada pelo gráfico é uma função e identificar que tipo de função, se for o caso, está representado. A tradução refere-se à capacidade de reconhecer e representar a relação entre os dados em diferentes formas de representações gráficas.

Alguns trabalhos abordam a importância de quatro componentes estruturais das representações gráficas (Carpenter e Shah, 1998; Friel, Curcio e Bright, 2001; Shah e Hoeffner, 2002). A estrutura (eixos, escala e grades) fornece informações sobre a forma geral do gráfico, a unidade de medidas utilizada e os valores dos dados obtidos. A estrutura mais simples e a mais utilizada no ensino de ciências, sobretudo em física, tem a forma de L, representando os eixos coordenados, nos quais, no eixo X representa-se a variável independente e no Y, a variável dependente.

As dimensões visuais, chamadas de especificadores, são utilizadas para representar os valores dos dados. Os especificadores podem ser a linha, as barras, as regiões ou qualquer outra marca que especifica as relações entre os dados, dependendo do tipo de gráfico utilizado. Nas representações gráficas também existem os rótulos, que são os nomes dos eixos, o nome do gráfico, sua legenda, qualquer informação textual presente no gráfico. O fundo, que pode incluir qualquer cor, figura ou forma sobre a qual o gráfico está sobreposto.

3.2.5 Conceitos relacionados à avaliação da atividade: validade e confiabilidade

As idéias sobre a validade e confiabilidade das evidências experimentais são fundamentais para uma compreensão de como o conhecimento científico se desenvolve, uma vez que elas permitem ao experimentador e seus pares julgar a qualidade das evidências e o conjunto dos dados obtidos e se estes constituem novo conhecimento ou não.

Para Gott e Duggan (1996), a compreensão adequada das idéias sobre validade e confiabilidade e dos demais conceitos relacionados influenciam diferentes etapas do processo de investigação, a forma como os dados serão coletados, representados e interpretados.

Pesquisas indicam que os estudantes são capazes, à sua maneira, de planejar e conduzir atividades investigativas simples, mas eles, muitas vezes, coletam dados insuficientes ou inadequados e obtêm conclusões que são inconsistentes com os dados ou que não são suportadas pelos dados obtidos (Millar e colaboradores, 1994; Kanari e Millar, 2004; Gomes, 2005).

Em situações nas quais os dados coletados são inconclusivos, controversos ou insuficientes, os estudantes geralmente formulam conclusões em sintonia com suas concepções prévias e expectativas. Apenas em situações nas quais os dados contradizem as idéias dos estudantes e as suas concepções alternativas não são tão fortes, ou quando não passam de intuições, é que eles formulam as conclusões baseando-se nos dados obtidos. Caso contrário, a tendência é de permanecer com suas concepções inalteradas.

A questão da análise das evidências disponíveis também é explorada por pesquisadores da área da cognição humana. Esses trabalhos investigam o efeito de conhecimentos específicos sobre a avaliação de evidências e concentram-se no estudo da habilidade dos indivíduos em decidir quais hipóteses são corroboradas ou não por um conjunto determinado de evidências (Kuhn e Brannock, 1977; Kuhn, Amsel e O'Loughlin,

1988; Koslowski e colaboradores, 1989; Amsel e Brock, 1996; Park e Pak, 1997; Leach, 1999). Essas evidências são, normalmente, apresentadas sob a forma de desenhos ou tabelas de covariação. Nesses estudos, o principal foco de atenção dos pesquisadores é a capacidade dos indivíduos em coordenar, modificar e reconciliar seus conhecimentos específicos e hipóteses com as evidências que as tarefas e testes apresentam, e de analisar se as inferências realizadas pelos participantes baseiam-se nas evidências apresentadas ou em suas concepções prévias.

Os desenhos metodológicos desses estudos seguem, em geral, um mesmo padrão. Inicialmente, uma situação é contextualizada por meio de pequenos textos e explicações orais. O conhecimento prévio dos participantes é controlado pelo contexto dos problemas, que pode ser mais concreto e cotidiano, mas pode, em alguns casos, tratar de situações mais distantes da experiência dos participantes. A situação normalmente descreve um problema a ser resolvido, que consiste em identificar qual variável era responsável por produzir determinado resultado. Através de perguntas, o conhecimento e as hipóteses iniciais dos participantes são identificados na forma de relações causais que eles julgam existir entre variáveis que descrevem o fenômeno e o resultado esperado. Em seguida, são apresentadas as evidências disponíveis e os participantes são solicitados a identificar a variável que causa determinado efeito e a apresentar uma justificativa.

Os resultados das pesquisas demonstram que os participantes, sobretudo crianças, apresentam uma grande dificuldade em coordenar e diferenciar teoria e evidência, apresentando, portanto, ‘falhas’ no seu pensamento científico. Essas pesquisas relatam que os participantes fornecem, muitas vezes, justificativas baseadas em suas concepções sobre o fenômeno, ao invés de se basearem apenas nas evidências de covariação apresentadas. Os estudos revelam que, em todas as faixas etárias estudadas, é possível identificar tendências dos participantes em ignorar, distorcer ou rejeitar evidências inconsistentes com suas concepções sobre o tópico, tendências de ajustar a teoria para se adaptar às evidências e vice-versa. Os estudos indicam ainda que os sujeitos participantes sentem maiores dificuldades em lidar com evidências que não confirmam suas expectativas iniciais. Quando solicitados a justificar suas respostas considerando apenas as evidências apresentadas, muitas crianças, e até mesmo adultos, continuam a apresentar justificativas baseadas em suas concepções. Um exemplo de ambos os comportamentos pode ser notado em atividades em que estudantes procuram determinar o efeito de fatores como a massa e o comprimento do fio de um pêndulo sobre o seu período (Kanari e Millar, 2004).

Koslowski (1996) critica essa linha de pesquisa e argumenta que o conhecimento conceitual pertinente ao contexto é um fator importante para estruturar e resolver problemas práticos, defendendo a tese da interdependência entre teoria e evidência como característica do pensamento científico. Para ela, uma parcela significativa dos indivíduos raciocina de forma científica ao levar em consideração seus conhecimentos prévios, de forma cuidadosa e racional, quando avalia evidências e resultados experimentais.

Reforçando o argumento de Koslowski, Chinn e Brewer (2001) propõem um modelo que sugere que os indivíduos avaliam evidências construindo uma representação cognitiva que incorpora tanto suas teorias, quanto as evidências disponíveis. Segundo os autores, *“teorias e dados se tornam imbricados de uma maneira tão complexa que não é sempre possível dizer onde começa um e termina o outro”* (p. 331).

Dada a importância e a influência que a experimentação e a interpretação de dados têm sobre o processo de análise de evidências, alguns pesquisadores da área de cognição passaram a explorar como os estudantes raciocinam a partir dos dados, muitas vezes obtidos por eles mesmos. Masnick e Morris (2002) obtiveram como resultado que estudantes, de todas as idades, tiveram uma grande confiança nas conclusões obtidas baseadas nos conjuntos de dados maiores, em perceber que dois conjuntos de dados apresentavam valores bem distintos e também que as dispersões dos dados de dois outros conjuntos eram semelhantes. Além disso, a maioria das justificativas foi baseada nos dados, com raras menções relacionadas ao domínio teórico da atividade. É verdade que para o domínio teórico escolhido (teste de bolas de tênis lançadas por uma máquina e rendimento de atletas), os indivíduos não possuem um conhecimento conceitual estruturado e forte. Portanto, nesses casos, os autores destacam que os indivíduos prestam atenção a várias características do conjunto de dados.

Masnick e Klahr (2003) exploram a compreensão dos estudantes entre 7 e 11 anos sobre erros durante diversas fases do processo de resolução de uma atividade prática que envolvia esferas descendo um plano inclinado e a medição da distância que a esfera percorria em outra rampa. Os estudantes podiam fazer modificações em determinadas variáveis como a superfície da rampa ou o tipo de esfera.

Os autores reportam que as variáveis foram controladas satisfatoriamente por apenas 16% dos alunos mais novos e por 40% dos participantes mais velhos. Os estudantes foram capazes de sugerir fontes plausíveis de erros. Porém, poucos alunos levam em consideração esses erros quando analisam os resultados. Masnick e Klahr concluem que crianças já possuem uma concepção sobre erro e suas possíveis fontes, porém essa concepção não é

sistematizada, ainda não integrada a uma concepção coerente do processo de medição e sua interpretação.

As atividades investigativas em ciências são, em sua maioria, atividades cujo objetivo são a determinação da influência de certas variáveis sobre outras, a identificação de quais variáveis são responsáveis por resultados específicos, ou como a variação de determinada variável causa modificações em uma ou mais variáveis no sistema ou fenômeno. Igualmente importante é a identificação de variáveis não causais e possíveis variáveis que não podem ser controladas, resultando em fontes de erros e imprecisões durante o experimento.

No seu trabalho, Kuhn, Black, Kaselman e Kaplan (2000) levantam a hipótese de que os indivíduos usualmente usam um modelo mental inadequado de causalidade, o que explicaria as estratégias incorretas de controle de variáveis, os erros nas análises de sistemas de múltiplas variáveis e, conseqüentemente, as dificuldades na interpretação das evidências.

Psicólogos e pesquisadores na área de cognição defendem que o indivíduo, ao longo de suas interações com o mundo físico, mesmo não possuindo um conhecimento conceitual específico, desenvolve um ‘senso de mecanismo’, uma idéia ou noção de como e porquê as coisas funcionam (Koslowski, 1996).

Para diSessa (1993), o ‘senso de mecanismo’ é uma espécie de conhecimento pouco organizado, responsável pelas predições, expectativas, explicações e relações de causalidade que jovens e adultos possuem sobre diversos fenômenos, fruto de seu conhecimento prévio e de suas experiências pessoais anteriores. Sendo assim, perceber, de forma consistente, covariações como evidências de relações causais entre fatores e variáveis parece depender do desenvolvimento de mecanismos de causalidade plausíveis que devem ser consistentes com as evidências observadas.

Quando indivíduos realizam atividades experimentais, seus conhecimentos anteriores, suas crenças e valores impõem, de algum modo, certos limites e vieses teóricos. Estes têm influência marcante na maneira como os estudantes formulam hipóteses, na seleção de estratégias experimentais para coletar os dados e na avaliação das evidências.

A compreensão sobre o efeito causal dos diversos fatores que compõem uma atividade experimental é fundamental para a análise da validade e confiabilidade dos procedimentos e dos dados obtidos ao longo da atividade. Ao reconhecer que os erros são inerentes à atividade experimental, os indivíduos devem preocupar-se em saber identificá-los e minimizá-los na fase de coleta de dados. Porém, é importante que o indivíduo desenvolva também ferramentas para analisar e tratar o conjunto de dados obtidos, avaliar e julgar sua validade e confiabilidade, quantificar e diminuir os erros ocorridos, para identificar relações, padrões etc.

Lubben e Millar (1996), além de investigarem como os estudantes lidam com a questão da variabilidade dos dados, cujos resultados descrevemos na seção anterior, também investigam como os estudantes tratam o conjunto dos dados e as evidências disponíveis. No quadro 3.3, além da progressão no entendimento da necessidade de se repetir a coleta de dados, uma progressão paralela pode ser identificada na questão sobre a avaliação das medidas realizadas. Iniciando apenas com a verificação de se o resultado era esperado ou não, passando pela seleção de resultados recorrentes e pelo cálculo da média com todos os dados obtidos. As idéias sobre o que fazer com resultados inesperados ou que divergem muito dos demais obtidos surge apenas nos níveis mais elevados, exibidas apenas por indivíduos mais velhos. Tais idéias baseiam-se na visão de que a variação das medidas fornece informação sobre a confiança do valor médio calculado.

Schauble (1996) afirma que a decisão de encarar a variação nos dados obtidos como erro ou de interpretá-la como possível efeito de alguma variável era baseada nos conhecimentos e concepções dos participantes. Para preservar suas concepções, as crianças tenderam a tratar essas variações nos dados como erro, mesmo eles sendo causados por alterações nas demais variáveis e vice-versa. Chinn e Brewer (1993; 1998) observaram que uma das razões dos estudantes para rejeitar os dados anômalos inclui questões sobre a variação dos dados e a configuração experimental. Em uma das questões de Lubben e Millar (1996) havia um dado anômalo que não foi percebido pela maioria dos respondentes. Além disso, a maioria dos estudantes incluiu a medida anômala nas suas análises e preferiu calcular a média do conjunto de dados com o dado anômalo.

Lubben e colaboradores (Allie e colaboradores, 1998; 2001; Buffler e colaboradores, 2001; Lubben e colaboradores, 2001), estenderam o estudo realizado por Lubben e Millar (1996). Utilizando-se de instrumentos de pesquisa semelhantes, mas trabalhando com estudantes ingressos na universidade, esses autores realizaram uma série de trabalhos que forneceu um importante suporte empírico para o desenvolvimento de um referencial simples, no qual o pensamento dos estudantes no laboratório pode ser categorizado em dois tipos distintos: o pensamento por ponto e por conjunto.⁵ As diferenças entre essas duas formas de raciocínio podem ser vistas no quadro 3.4.

O pensamento por ponto se caracteriza pela noção que cada medida pode, em princípio, ser o valor correto. Como consequência, cada medida é independente das outras e as medidas individuais não são combinadas de forma alguma com as outras. Portanto, a

⁵ Tradução dos termos em inglês point e set reasoning.

medida é concebida como sendo um valor, ao invés de se estabelecer um intervalo. Na forma mais extrema do pensamento por ponto está a crença de que apenas uma medida é necessária para estabelecer o valor verdadeiro da grandeza medida.

Quadro 3.4 – Caracterização dos pensamentos por ponto e conjunto

Pensamento por Ponto	Pensamento por Conjunto
O processo de medição permite determinar o valor verdadeiro da grandeza	O processo de medição fornece informações incompletas sobre a grandeza que está sendo medida.
“Erros” acontecem devido a uma inabilidade do experimentador ou devido às falhas na configuração experimental	Todas as medidas estão sujeitas a incertezas que não podem ser eliminadas. As incertezas podem apenas ser reduzidas.
Uma única medida tem o potencial de ser o valor verdadeiro da grandeza que está sendo medida.	As medidas realizadas são utilizadas para construir uma distribuição da qual a melhor aproximação da grandeza medida e a dispersão dos dados serão obtidos.

O pensamento por conjunto é caracterizado pela idéia de que cada medida é apenas uma aproximação do valor verdadeiro da grandeza e que o desvio deste valor é aleatório. Como conseqüência, um número de medidas é necessário para formar uma distribuição que se estabeleça em torno de um valor determinado. A melhor informação sobre o valor verdadeiro é obtida pela combinação das medidas, utilizando-se construtos teóricos para descrever os dados conjuntamente.

Como parte do seu desenvolvimento e compreensão dos métodos utilizados pela ciência para obtenção de evidências válidas, os indivíduos devem aprender procedimentos adequados de análise de dados (ações) e aprofundar sua compreensão sobre a natureza dos dados obtidos e do processo de medição (raciocínio). Suas ações e raciocínios também podem ser associados aos pensamentos por ponto e conjunto como ilustra o quadro 3.5.

Quadro 3.5 – As ações e os pensamentos dos indivíduos segundo os paradigmas ponto e conjunto.

Fase do processo de medição	Ações	Pensamento
Paradigma Ponto		
<i>Coleta de dados</i>	A repetição de medidas não é necessária, ou é feita para achar o mesmo valor ou repetir por prática.	Uma medida nos conduz a um ponto. Apenas uma boa medida é necessária.
<i>Processamento de dados</i>	Uma única (melhor) medida é escolhida (moda) para representar a medida.	Cada medida é independente das outras e pode ser, a princípio, o valor verdadeiro.
<i>Gráficos</i>	Todos os pontos são unidos por segmentos múltiplos de reta.	O comportamento dos dados é melhor representado através da escolha de determinados pontos que descrevem o comportamento esperado.

<i>Comparando um conjunto de dados</i>	Uma comparação valor a valor é realizada ou compara-se a média quando esta é fornecida.	A comparação é feita por meio da avaliação de proximidade entre os valores.
Paradigma conjunto		
<i>Coleta de dados</i>	A repetição de medidas é necessária como consequência das variações possíveis.	Cada medida é apenas uma aproximação do valor real e os desvios produzidos são aleatórios. Um grande número de medidas é necessário para formar uma distribuição próxima do valor procurado.
<i>Processamento de dados</i>	Um conjunto de dados é representado pela média e seu desvio padrão.	A melhor representação de uma medida é obtida por meio da combinação das medidas utilizando construtos teóricos como a média, para caracterizar o conjunto de dados como um todo.
<i>Gráficos</i>	A melhor curva é ajustada entre os pontos disponíveis.	A melhor representação gráfica de uma série de medidas é o ajuste de uma curva sobre os pontos disponíveis.
<i>Qualidade dos dados</i>	Para um mesmo conjunto de dados, o melhor será aquele que apresentar o menor desvio padrão.	O desvio padrão está relacionado com a precisão da medida realizada.
<i>Comparando um conjunto de dados</i>	A comparação ocorre levando em consideração a média e a sobreposição das dispersões dos dados.	A média e o desvio padrão definem o intervalo de confiança, que definem o melhor valor para a medida e a sua confiabilidade.

A utilização dos pensamentos por ponto e conjunto por um mesmo indivíduo foi identificada nos trabalhos de Allie e colaboradores (2001) e Buffler e colaboradores (2001). Segundo os autores, é comum um indivíduo, caracterizado por possuir um pensamento por ponto reconhecer, em determinado contexto, a necessidade de calcular a média dos dados obtidos. Mas percebe-se, pela análise das respostas em outras questões, que falta a muitos indivíduos, que demonstram possuir o pensamento por conjunto, uma compreensão profunda e completa dos conceitos que estão envolvidos no processo de medição.

Também foi comum a identificação de indivíduos que tiveram o pensamento caracterizado por ponto e durante a resolução das questões, adotaram ações que o caracterizariam como possuir de pensamento por conjunto e vice-versa. Como exemplo, os autores citam os estudantes que afirmam que repetem as medidas para poder calcular a média, mas escolhem outro valor para representar o conjunto de dados. Essas contradições acontecem com certa frequência em todas as fases do processo de medição. Tal fato corrobora as evidências de pesquisas anteriores que identificam que o desempenho de estudantes em atividades práticas é influenciado pelas demandas conceituais e pelo contexto da atividade (Song e Black, 1991; 1992; Leach e colaboradores, 2000).

4 NATUREZA DA CIÊNCIA

O desenvolvimento de visões mais sofisticadas dos estudantes sobre a ciência e o processo de construção do conhecimento científico é, há tempos, uma das principais preocupações de educadores em ciências. Atualmente, a compreensão de certos aspectos da natureza da ciência é o componente central em muitas reformas curriculares.

Porém, ainda não há um consenso entre filósofos sobre uma definição universal da ciência, nem da origem do conhecimento científico. Por isso, na seção 4.1 apresentamos uma definição do que consideramos ser a natureza da ciência e as principais características comumente aceitas sobre o conhecimento científico e seu processo de construção.

Na seção 4.2 relatamos, em detalhes, algumas pesquisas sobre as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência. Na seção 4.3, discutimos a influência da visão da ciência do estudante, sobretudo, suas crenças epistemológicas, sobre seu próprio processo de aprendizagem e estratégias utilizadas para aprender ciência.

4.1 A natureza da ciência

Ao longo dos anos, os trabalhos nas áreas da filosofia, história e sociologia da ciência vêm tentando caracterizar os produtos e as práticas dos cientistas. Para Leach (1998), tais trabalhos buscam respostas às perguntas do tipo:

- Quais os propósitos da ciência e quais as questões que ela aborda?
- Como o conhecimento científico é gerado e como ele se relaciona com os fenômenos naturais?
- Quais são as características das práticas dos cientistas?
- Como o trabalho dos cientistas relaciona-se com atividades e preocupações sociais mais amplas?
- Como se dá a interação entre os cientistas no seu trabalho?

Tais perguntas relacionam-se com duas áreas de estudo da ciência. A primeira é a

epistemologia da ciência - ou seja, a teoria do conhecimento, a área da filosofia da ciência que lida com problemas do tipo: "o que é o conhecimento?", "o que podemos conhecer?", "qual é a origem do conhecimento?", "como justificamos as nossas crenças?". A segunda área é a sociologia da ciência, que estuda o modo como a atividade científica é socialmente e institucionalmente organizada e as relações entre as comunidades de cientistas e a sociedade. No restante deste trabalho, os aspectos relacionados com a sociologia e, sobretudo, com a filosofia e a epistemologia da ciência serão referidos pelo termo natureza da ciência.

O incentivo curricular à compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência teve sua origem já no início do século XX, logo quando a ciência ganhou um espaço dentro do currículo escolar. Hodson (1988) e Matthews (1998) citam argumentos de John Dewey e de Ernst Mach sobre a importância do entendimento do método científico, ressaltando que sua compreensão é mais importante do que a aquisição do próprio conhecimento científico.

Com as reformas curriculares da década de 60, houve os primeiros esforços na tentativa de mudar a ênfase do ensino de ciências, que era baseada no “que os cientistas sabem” para a questão sobre “o que os cientistas fazem”.

Porém, apesar desses esforços iniciais, os professores e os próprios currículos permaneceram moldados à tradição de transmissão de fatos e dos produtos finais da atividade científica (conhecimento científico na forma de leis, definições, teorias e conceitos). Portanto, segundo McComas, Clough e Almazroa (1998), mesmo após quase 50 anos de interesse explícito pela introdução da natureza da ciência nos currículos, pouca ou nenhuma mudança significativa fez-se sentir dentro da sala de aula. Questões relativas à natureza da ciência eram e ainda são relegadas a alguns poucos parágrafos no início dos livros de ciências. Além disso, a imagem da ciência apresentada nesses textos é, geralmente, incorreta, pitoresca e simplista.

Com a ampliação das metas curriculares a partir do início da década de 90, houve uma ênfase de que a compreensão do conhecimento científico não deve se limitar apenas ao simples domínio de fórmulas, fatos, modelos e teorias científicas, mas também, deve ser composto por um conhecimento maior sobre a natureza da ciência e sobre o processo de produção de novos conhecimentos. Educadores e pesquisadores passaram então, a defender a utilização de atividades que tratem da natureza da ciência de forma explícita e que apresentem um modelo científico mais válido do ponto de vista filosófico e epistemológico (Hodson, 1988; Burbules e Linn, 1991; Hodson, 1992; Moreira e Ostermann, 1993).

Atualmente, a compreensão da natureza da ciência é um componente central no currículo básico de ciências na maioria dos países, inclusive no Brasil. (AAAS, 1990; Brasil, 1999; McComas e Olson, 1998). Tais movimentos curriculares se baseiam na premissa de que

possuir uma compreensão mais sofisticada da natureza da ciência e de como o conhecimento científico é produzido e validado é fundamental para se tornar um indivíduo cientificamente alfabetizado, e pode fornecer a ele ferramentas para avaliar criticamente as informações disponíveis e viver num mundo em rápido desenvolvimento.

Driver e colaboradores (1996), baseados em uma ampla revisão da literatura, resumiram através de cinco argumentos de naturezas diferentes, o porquê de procurar desenvolver uma melhor compreensão da natureza da ciência. Segundo eles, os argumentos são:

- Um argumento utilitarista: uma compreensão da natureza da ciência é necessária para as pessoas entenderem a ciência e interagirem com os objetos e processos tecnológicos que elas encontram no seu dia-a-dia;
- Um argumento democrático: uma compreensão da natureza da ciência é necessária para as pessoas compreenderem os assuntos sócio-científicos e para participarem dos processos que envolvem decisões ligadas à ciência e tecnologia;
- Um argumento cultural: uma compreensão da natureza da ciência é necessária para se apreciar a ciência como a maior conquista da cultura contemporânea;
- Um argumento moral: aprender sobre a natureza da ciência pode ajudar a desenvolver uma preocupação sobre o processo de construção do conhecimento científico, e em particular, as normas da comunidade científica, incluindo aspectos morais e éticos, que são de grande importância;
- Um argumento de aprendizagem: uma compreensão da natureza da ciência pode oferecer um suporte mais eficiente para a aprendizagem dos conteúdos e dos métodos da ciência.

Porém, as pesquisas sobre a compreensão dos indivíduos sobre a natureza da ciência, apesar de acontecer já há mais de cinco décadas (Lederman, 1992), enfrentam alguns desafios. O mais importante dos desafios é, sem dúvida, a questão sobre a definição do que seja realmente a ‘natureza da ciência’. Os filósofos buscam então, respostas para perguntas do tipo o que é a ciência, como se caracteriza a atividade científica, qual a natureza do conhecimento científico e qual a importância e impacto da ciência na sociedade.

A busca por respostas a essas perguntas vem sendo feita, de maneira sistemática, há pelo menos quatro séculos por filósofos e cientistas naturais. Segundo Hodson (1888) e

Matthews (1995), no século XX, houve um grande desenvolvimento da filosofia da ciência e, conseqüentemente, reflexões mais profundas sobre o processo de construção e validação do conhecimento científico. Porém, é lamentável a separação que ocorreu entre os filósofos da ciência, os professores de ciências e os formuladores de currículos e políticas curriculares. O período de rápida mudança nos currículos de ciências coincidiu com um período igualmente significativo de mudanças no pensamento filosófico, caracterizados pelos trabalhos de Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend e outros. Mas, praticamente todo o avanço que ocorreu na filosofia da ciência do último século foi ignorado na época das reformas curriculares da década de 60 e 70.

Portanto, esses currículos foram influenciados por um empirismo ingênuo, divulgando uma abordagem que reproduzia os métodos puramente indutivos e que caracterizava a ciência apenas por seu ‘método’ rigoroso e infalível (Hodson, 1988).

Assim, se os documentos que estabelecem as normas educacionais e os pensadores de currículos adotam e defendem determinadas posições filosóficas, não é de se surpreender que os professores de ciências e os livros textos também o façam de maneira acrítica.

Isso contribuiu de forma decisiva para que até hoje essa visão tradicional da ciência, baseada em métodos experimentais e na objetividade da observação científica seja muito forte no ensino de ciências.

Porém, essa visão tradicional da ciência vem sendo duramente combatida pelos trabalhos na área da filosofia da ciência, publicados desde a década de 60, e por outro tipo de pesquisa, relativamente novo, que consiste em observar o comportamento e raciocínio dos cientistas em ação, em seus laboratórios de pesquisa. Nos últimos anos, é cada vez maior o número de pesquisadores da área da pesquisa em ciências sociais entrando nos laboratórios para estudar as formas como o conhecimento científico é desenvolvido (Dunbar, 1995; 2000; Latour e Woolgar, 1997). Essas pesquisas têm mostrado que os produtos da ciência são construídos essencialmente de maneira social e ainda, reforçam a idéia de que as estratégias de resolução de problemas não seguem uma estrutura rígida, baseadas num método único e geral. Ao contrário, são formas idiossincráticas de raciocínio, altamente dependentes do contexto e do domínio da pesquisa. Os pesquisadores concordam que a idéia de um método científico único, aplicável a todas as áreas é, portanto, um grande mito e não descreve o que os cientistas realmente fazem nos laboratórios.

Tais pesquisas revelam, portanto, a complexidade do termo ‘natureza da ciência’. Mas, apesar dessa dificuldade de caracterização e das concepções inadequadas enraizadas na mídia, nos professores e livros didáticos, desde meados da década de 1980, intensificaram-se as

discussões e as pesquisas sobre a natureza da ciência, com a incorporação de aspectos e características que haviam sido negligenciados anteriormente. Para Séré e colaboradores (2001), na filosofia da ciência, questões sobre a natureza e o status do conhecimento científico são convencionalmente discutidos sobre duas dimensões:

- uma dimensão ontológica, que aborda a relação entre os modelos científicos e seu embasamento empírico;
- uma dimensão epistemológica, que aborda as questões de validade e reprodutibilidade do conhecimento científico.

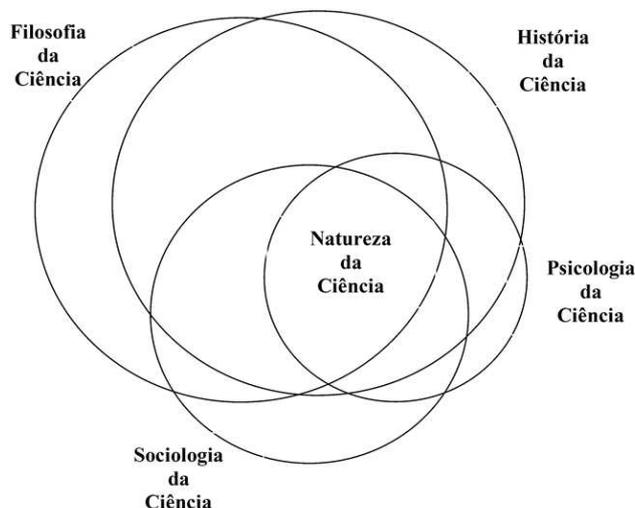
McComas e Olson (1998), ao realizarem uma análise qualitativa dos documentos que regulamentam e estabelecem as diretrizes educacionais para o ensino de ciências em diversos países, concluem que há quatro disciplinas que contribuem, em maior ou menor grau para compor o que conhecemos por “natureza da ciência”. As disciplinas seriam a filosofia, a história, a sociologia e a psicologia da ciência (figura 4.1). Naturalmente, a filosofia e a história da ciência têm um impacto maior sobre nosso conhecimento da ciência, mas, segundo os autores, a psicologia e a sociologia também contribuem com aspectos importantes. Portanto,

“a natureza da ciência é uma arena híbrida e fértil que mistura aspectos de várias áreas das ciências sociais incluindo a história, a sociologia e a filosofia da ciência combinada com a pesquisa na área das ciências cognitivas como a psicologia, numa descrição rica sobre o que é a ciência, como ela funciona, como os cientistas se comportam como grupo social e como a sociedade, ao mesmo tempo, direciona e reage à atividade científica.” (McComas, Clough e Almazora, 1998, p. 4)

McComas e Olson identificaram, nos documentos analisados, várias proposições sobre a natureza da ciência que foram distribuídas e analisadas segundo essas quatro disciplinas. A filosofia da ciência relaciona-se com as proposições sobre o que é a ciência e como ela é feita, a natureza e formas de obtenção do conhecimento científico e a relação entre observação e evidência experimental. A sociologia relaciona-se com os trechos que abordam questões sobre quem são os cientistas, como eles trabalham e as questões éticas e morais que envolvem esse trabalho.

A psicologia inclui aspectos sobre as características dos cientistas, sobretudo o lado criativo do processo de produção do conhecimento científico e ainda ressaltando que os cientistas devem ser abertos para novas idéias e ser intelectualmente honestos.

Figura 4.1 – As áreas e disciplinas que compõem a natureza da ciência



Elementos associados à história da ciência incluem a ciência como uma tradição social influenciada pelos contextos sociais e históricos e de implicações globais, como, por exemplo, o desenvolvimento da tecnologia. Assim, os autores concluem que

“Está claro, a partir da revisão da literatura normativa da educação em ciências que o termo ‘natureza da ciência’ não é simplesmente um sinônimo de filosofia da ciência, mas um domínio informado pelas pesquisas em várias disciplinas.” (McComas e Olson, 1998, p. 48)

Pesquisadores em ensino de ciências concordam que não há entre os filósofos uma visão consensual sobre ciência e que a natureza do processo de formação do conhecimento científico varia bastante de um campo da ciência para outro. Mas, apesar da dificuldade da caracterização sobre o que é realmente a natureza da ciência, há certa unanimidade entre filósofos da ciência e educadores sobre determinadas características da ciência, de sua prática e do conhecimento científico, que os alunos precisam aprender para desenvolver uma visão mais contemporânea da ciência. Osborne e colaboradores (2003) reportam o resultado de um estudo do tipo ‘Delphi’ para identificar o conteúdo epistemológico sobre o conhecimento científico apropriado para ser ensinado a estudantes do ensino médio. Historiadores, filósofos, sociólogos, cientistas e professores de ciência foram consultados sobre os principais aspectos do conhecimento e do trabalho científico. O estudo também sugere que há certo consenso sobre alguns aspectos fundamentais da epistemologia da ciência que devem ser abordados no ensino de ciências, sobretudo em relação ao método científico, à natureza e construção do conhecimento científico. Segundo diversos autores (McComas, Clough e Almazroa, 1998; Gil

Perez e colaboradores, 2001; Moss, Abrams e Robb, 2001; Lederman e colaboradores, 2002) tais características estão presentes no quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Principais aspectos relacionados à natureza da ciência

- O conhecimento científico tem um caráter provisório e está, permanentemente sujeito à mudanças;
- O conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não completamente, em observações, evidências experimentais, argumentos racionais e ceticismo;
- Não há apenas UM modo de se fazer ciência. Portanto não há um método universal da ciência, aplicável a todos os campos do conhecimento científico;
- A ciência tem por objetivo estudar e compreender os fenômenos naturais;
- As observações experimentais são guiadas pelas teorias e concepções de quem observa;
- A ciência, além de muito trabalho, requer muita criatividade e originalidade;
- A ciência é uma atividade coletiva, socialmente construída e influenciada por interesses econômicos, políticos e sociais;
- Não se pode adquirir conhecimento científico apenas através de observações, de maneira indutiva.

É importante observar que, apesar de listados separadamente, essas características estão intimamente relacionadas e não devem ser analisadas separadamente. Porém, até mesmo essa lista de características e fundamentos da ciência, comumente aceita é passível de críticas. Alters (1997) critica tais listas, argumentando que estas são criadas por educadores. Em seu trabalho, Alters submeteu as características da ciência mais recorrentes em artigos e documentos oficiais definidores de currículos ao crivo de filósofos da ciência. Como resultado, Alters obteve que tais características não são amplamente respaldadas pelos especialistas e que devem ser reconsideradas ou tratadas com mais cuidado. Porém, Abd-El-Khalick e Boujaoude (1997) concluem que a maioria dos pontos de desacordo sobre a definição da natureza da ciência é irrelevante para estudantes do ensino médio.

Portanto, o que se espera dos estudantes, de forma geral, é que eles desenvolvam o entendimento, sobretudo, de que: (a) o conhecimento científico tem sua base nas evidências empíricas; (b) as evidências empíricas são coletadas e interpretadas sob uma determinada perspectiva científica e influenciada por aspectos pessoais e culturais do cientista; (c) o conhecimento científico é produto da imaginação e criatividade humana; e (d) a direção e os produtos do trabalho científico são influenciados pela sociedade e a cultura nas quais a ciência está inserida. Esses aspectos têm sido enfatizados nos últimos tempos e reforçados em documentos oficiais que regem a educação em ciências em diversos países, inclusive o Brasil

(Brasil, 1999; AAAS, 1990, McComas e Olson, 1998; Millar e Osborne, 1998).

4.2 As concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência

A história da avaliação e da pesquisa sobre a natureza da ciência, segundo Lederman, Wade e Bell (1998a, 1998b) reflete a evolução que ocorreu no desenho das pesquisas na área educacional e outras áreas das ciências humanas e sociais. As primeiras pesquisas ocorreram no início da década de 60, com ênfase numa abordagem quantitativa, como era a tradição da pesquisa na área de educação na época (Aikenhead, 1973). Até quase o final da década de 1980, com raras exceções, os pesquisadores da temática se contentaram em desenvolver instrumentos objetivos, de fácil análise para obter medidas quantitativas da compreensão sobre a natureza da ciência dos indivíduos.

No início da década de 90, resultados de pesquisas questionaram a metodologia e a conseqüente validade desse tipo de pesquisa realizada durante quase três décadas dentro do paradigma quantitativo (Carey e colaboradores, 1989; Lederman e O'Malley, 1990). E, a partir daí, novas metodologias e abordagens foram desenvolvidas e aplicadas para contribuir na pesquisa sobre as concepções dos indivíduos sobre aspectos da natureza da ciência.

Ao longo dos anos, apesar dessa ênfase curricular e pedagógica sobre a natureza da ciência, a pesquisa na área tem mostrado que os estudantes, de todos os níveis acadêmicos, apresentam uma visão simplista e deformada do processo científico, normalmente associadas às visões ultrapassadas de correntes filosóficas como o empiricismo e o indutivismo. Várias estratégias de ensino, unidades curriculares e metodologias foram e continuam sendo desenvolvidas e implementadas para tentar desenvolver nos estudantes visões mais sofisticadas sobre a natureza da ciência. Paralelamente, pesquisadores em ensino de ciências têm desenvolvido uma gama de instrumentos e metodologias para possibilitar a identificação das concepções de estudantes e possíveis mudanças sofridas ao longo de um ciclo de aprendizagem.

Numa tentativa de resolver os problemas e dificuldades identificadas em pesquisas anteriores, sobretudo a limitação metodológica da utilização somente de instrumentos de lápis e papel, a pesquisa na área das concepções sobre a natureza da ciência passou por uma reformulação ao longo da década de 80 com os trabalhos de Carey e colaboradores (1989) e de Lederman e O'Malley (1990), com a introdução de entrevistas e análise de dados

qualitativos.

Lederman e O'Malley (1990) criticam o caráter extremamente quantitativo e a limitação metodológica da utilização exclusiva de instrumentos objetivos, com questões de múltipla escolha ou em forma de escala Likert nas pesquisas sobre as concepções dos indivíduos sobre a natureza da ciência. Um conjunto de 69 estudantes das séries 9 a 12 completaram um questionário contendo sete questões abertas que abordavam, sobretudo, o caráter provisório do conhecimento científico.

O questionário foi aplicado no início e ao término do ano acadêmico. Após as aplicações do questionário, 20 alunos foram selecionados para uma entrevista. Durante a entrevista, os alunos eram solicitados a esclarecer as respostas dadas no questionário e identificar a origem de suas crenças.

Porém, ao contrastar as respostas fornecidas pelos estudantes no questionário com as respostas durante as entrevistas (o objetivo inicial das entrevistas era de possibilitar a validação do questionário), alguns problemas foram identificados.

Apesar das respostas no questionário indicarem que os estudantes possuíam uma visão absolutista do conhecimento científico, as entrevistas indicaram que os estudantes tinham até certa clareza de que o conhecimento científico é provisório. Outro problema identificado relaciona-se com a questão da linguagem e a utilização de algumas palavras como, por exemplo, a palavra prova. No questionário muitos estudantes utilizaram a palavra para distinguir lei científica de teoria. Porém, durante as entrevistas, segundo os autores, fica evidente que a utilização da palavra não tem tanto o caráter absolutista atribuído por eles.

Portanto, os autores fazem uma recomendação metodológica, de utilizar entrevistas para clarear os dados sobre as crenças dos estudantes emitidas ou identificadas através de questionários, para se evitar más interpretações das respostas nos instrumentos objetivos.

Carey e colaboradores (1989) também questionam a extensa utilização dos instrumentos de coleta de dados na forma de questionários fechados ou em escala Likert, argumentando que estes instrumentos possuem limitações e não revelam completamente as concepções dos estudantes e o que eles realmente pensam. Para obter evidências mais diretas sobre as concepções dos estudantes sobre a natureza e a epistemologia da ciência, os autores desenvolveram uma entrevista clínica. Essa entrevista serviu também como pré e pós-teste para avaliar o efeito de uma unidade didática elaborada para desenvolver nos estudantes uma visão mais sofisticada da ciência.

A unidade de ensino teve como objetivo ajudar os estudantes a iniciar a diferenciação entre teoria e evidência e a fornecer a eles oportunidades para refletir sobre o processo de

construção do conhecimento científico. Portanto, os estudantes eram levados a pensar e a refletir sobre o problema investigado e a examinar as razões de cada passo durante o processo de investigação.

Participaram da entrevista 27 estudantes de um total de 76 que participaram da unidade de ensino. Os estudantes participantes possuíam, em média, doze anos de idade e foram entrevistados no início e ao final da unidade. A entrevista teve duração média de meia-hora e procurava identificar as concepções dos estudantes sobre (1) a natureza e os propósitos da ciência; (2) os elementos principais do trabalho científico incluindo idéias, experimentos, resultados/dados; e (3) a relação entre esses elementos.

Para analisarem os dados, Carey e colaboradores propuseram quatro níveis gerais distintos de respostas, levando em consideração, sobretudo, a distinção que os estudantes faziam sobre a teoria e o processo de experimentação.

Os resultados obtidos demonstram que a visão inicial dos estudantes nessa faixa etária é a de que a atividade científica baseia-se principalmente em observações e não na construção de explicações para os fenômenos, de que as idéias e crenças dos cientistas não os influenciam durante a experimentação e que os cientistas apenas descobrem as leis e teorias que existem na natureza.

Solomon, Duveen e Scott (1994) adotaram uma abordagem semelhante ao trabalho de Carey e colaboradores ao focar sua pesquisa sobre uma intervenção pedagógica especialmente desenhada com o objetivo de desenvolver a compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência. A intervenção se estendeu durante um período de doze meses (um ano letivo inteiro) e foi baseada, sobretudo, em episódios da história da ciência. Foram desenvolvidas treze unidades diferentes que duravam em média entre duas e quatro horas e envolviam também atividades de laboratório. Participaram da pesquisa estudantes entre 11 e 14 anos, divididos em cinco classes de três escolas britânicas. Os dados para a pesquisa foram coletados através de questionários, entrevistas e testes ocasionais, aplicados no início e ao final do curso.

Os autores reportam que antes da seqüência das atividades, durante as entrevistas, havia poucas evidências de que os estudantes viam o objetivo da experimentação como sendo o de fornecer uma explicação para os fenômenos, apesar de cerca de 40% deles terem marcado essa resposta no questionário. Após a seqüência de ensino, essa porcentagem aumentou para cerca de 60-70% dos estudantes.

Outra questão analisada por Solomon, Duveen e Scott foi sobre visão que os estudantes possuíam dos cientistas. Os resultados indicam que os estudantes não possuem uma única visão sobre os cientistas, mas várias: desde aquela representação estereotipada,

típica de desenhos animados, até a visão de empreendedores, em busca de novas descobertas.

Kang, Scharmann e Noh (2004) também tentam identificar a influência da escola sobre as concepções dos estudantes coreanos sobre a natureza da ciência. Para isso, realizaram um estudo vertical, com aplicação em grande escala de um questionário. Segundo os autores, relativamente pouca atenção tem sido dada às visões sobre ciência de estudantes mais jovens. A maioria dos trabalhos na área concentra suas atenções nas concepções de estudantes do ensino médio (Ryan e Aikenhead, 1992; Moss, Abrams e Robb, 2001) ou universitários (Ryder e Leach, 1999). Apenas alguns trabalhos identificaram a compreensão de crianças mais novas sobre a natureza da ciência (Driver e colaboradores, 1996; Elder, 2002; Smith e colaboradores, 2000).

Os resultados da pesquisa indicam que não há diferenças claras entre os estudantes das faixas etárias analisadas. Portanto, as experiências escolares desses alunos, além de pouco contribuir para que estes desenvolvam imagens mais sofisticadas sobre a natureza da ciência, ainda reforçam e mantêm as concepções alternativas e ingênuas dos estudantes durante todo o período escolar. Por exemplo, a maioria dos estudantes participantes, independentemente da idade, considera que a atividade científica refere-se a fazer um mundo melhor pra se viver. Essa visão é bastante comum entre os jovens e já foi identificada em pesquisas anteriores (Ryan e Aikenhead, 1992; Elder, 2002). Os autores ressaltam a importância de mais pesquisas na área para se identificar e definir o papel e a influência da escola sobre a visão da ciência dos estudantes.

Abd-El-Khalick (2006) investigou as concepções sobre a natureza da ciência de 153 jovens e adultos com idades entre 19 e 45 anos, todos universitários. Os participantes responderam a um questionário e 38 deles ainda foram entrevistados. Durante a entrevista, os estudantes justificaram suas respostas no questionário.

O autor conclui que as concepções sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico dos participantes da pesquisa são tão ingênuas quanto às de estudantes do ensino médio. A maioria dos participantes acreditava que a ciência fosse caracterizada pelo ‘método científico’ e ainda demonstrou concepções inadequadas sobre: (a) o caráter provisório, empírico, criativo e dependente de teorias do conhecimento científico; (b) o papel das teorias para a condução e definição de investigações; (c) a estrutura geral e os objetivos dos experimentos científicos.

4.3 Epistemologia da ciência: a influência das crenças epistemológicas na aprendizagem dos estudantes

Apesar da extensa literatura sobre a visão que professores e estudantes possuem com relação à ciência e produção e desenvolvimento do conhecimento científico, há, relativamente, poucos trabalhos que tenham focado o processo de desenvolvimento das imagens que estudantes têm sobre a natureza da ciência e, sobretudo, de que forma estas imagens influenciam nas ações dos estudantes durante o processo de ensino/aprendizagem. Sobre essa possível influência, Driver e colaboradores afirmam que

“freqüentemente, as ações dos estudantes e suas idéias são limitadas de maneira significativa por suas percepções sobre a natureza da ciência e do trabalho científico. O resultado é que novas experiências e informações apresentadas na sala de aula e no laboratório são geralmente interpretadas pelos estudantes de maneira diversa daquela planejada pelo professor ou pelos elaboradores de currículo. Saber mais sobre essas percepções, pode, portanto, nos ajudar a entender melhor o processo de aprendizagem do conteúdo de ciências e, por isso, contribuir para um ensino mais efetivo” (Driver, Leach, Millar e Scott, 1996, p. 2-3).

Em seu trabalho, Songer e Linn (1991) investigam a relação entre as crenças e concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência e a integração de conhecimentos científicos no domínio da termodinâmica. Ao analisarem a relação entre as concepções sobre a natureza da ciência e as formas como os estudantes aprendem e integram seus conhecimentos sobre termodinâmica, os autores reportam que estudantes que vêem a ciência como um corpo de conhecimentos passível de mudanças e dinâmico, ao invés de estático e imutável, são menos propícios a achar que para aprender ciência é preciso muita memorização e alcançam uma compreensão mais integrada do tópico estudado.

Hogan (2000) propõe mudar a pergunta sobre quais são as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência para o que essas concepções influenciam e como elas se modificam durante a vida acadêmica dos estudantes. Devido a essa suposta ligação, alguns pesquisadores educacionais passaram a investigar, sobretudo nas duas últimas décadas, a relação entre as percepções dos estudantes sobre a natureza da ciência e o processo de aprendizagem dos estudantes.

As pesquisas sobre as concepções dos indivíduos sobre a epistemologia da ciência, até o final da década de 90, confundiam-se com as pesquisas sobre as concepções e visões sobre a natureza da ciência. Esse segundo campo de pesquisa pode englobar aspectos mais amplos da

prática científica, como seu contexto social e político, a imagem dos cientistas, a relação entre ciência, tecnologia e sociedade etc.

Porém, a pesquisa sobre a epistemologia da ciência foca suas atenções, principalmente, nas concepções dos indivíduos sobre a natureza do conhecimento científico e os métodos apropriados para produzi-lo e avaliá-lo. Tal mudança de foco não é uma tendência de considerar outros aspectos da prática científica menos importantes, mas sim,

“ um foco claramente epistemológico parece mais apropriado para a consideração do papel que investigações conduzidas pelos estudantes pode ter no desenvolvimento de suas compreensões da prática científica e do entendimento de como as idéias dos estudantes sobre a natureza do conhecimento e os meios para produzi-lo pode influenciá-los em suas investigações.”
(Sandoval, 2005, p. 638).

Epistemologia, segundo Sandoval (2005), é a área da filosofia dedicada ao estudo do conhecimento. Os filósofos da ciência têm se preocupado em definir uma epistemologia da ciência – as bases lógicas e filosóficas sobre as quais o conhecimento científico se fundamenta e é justificado. Tal movimento parte do princípio de que o conhecimento científico e o processo de sua construção são potencialmente diferentes de outras formas de conhecimento. De uma maneira mais prática, Machamer (1998) define a epistemologia da ciência como um ramo da filosofia da ciência que se preocupa em responder a algumas perguntas específicas: qual é a natureza e as características essenciais do conhecimento científico?; Como esse conhecimento é obtido, codificado e apresentado?; Como esse conhecimento é submetido à crítica e à avaliação?

Nas últimas duas décadas, os trabalhos sobre as crenças epistemológicas dos indivíduos intensificaram-se, tornando-se uma linha de pesquisa proeminente no campo da educação. Psicólogos e pesquisadores na área da cognição humana também incorporaram a noção de epistemologia e internalizaram tal conceito, definindo uma epistemologia pessoal, que seria um conjunto de crenças e conhecimentos que os indivíduos possuem e desenvolvem sobre a natureza do conhecimento, sua produção e aquisição, a qual pode atuar como padrão para julgar a validade das afirmações e evidências.

Essa perspectiva psicológica sobre a epistemologia pessoal iniciou-se com o estudo de William Perry em 1970 com seus alunos, na universidade de Harvard, sobre o conhecimento, suas origens e seu desenvolvimento (Hofer e Pintrich, 1997; Buehl e Alexander, 2001; Moore, 2002). Após o trabalho de Perry, iniciaram-se diversos trabalhos empíricos que buscam a identificação das crenças epistemológicas dos indivíduos sobre como eles próprios adquirem

conhecimento e sobre a própria natureza desse conhecimento. Além disso, os psicólogos defendem que tal epistemologia é parte e, ao mesmo tempo, exerce uma influência sobre os processos cognitivos do indivíduo.

Pesquisadores, nessa perspectiva psicológica, concordam que as crenças epistemológicas estão relacionadas com a cognição, motivação, aprendizagem e compreensão, influenciando direta ou indiretamente as estratégias de resolução de problemas e o desempenho dos estudantes nas diversas atividades. Diversos trabalhos (por exemplo, Schommer, 1990; 1993) fornecem evidências dessas relações.

Segundo Hofer e Pintrich (1997), os estudos sobre a epistemologia pessoal sofreram com essa confluência e a influência das pesquisas sobre as crenças dos indivíduos sobre aprendizagem. Tal influência, segundo os autores, prejudicou e ainda prejudica as pesquisas na área, devido à confusão de termos e à confusão sobre os objetos de estudo. É inegável que tais concepções estejam relacionadas, uma vez que as concepções de um indivíduo sobre o conhecimento podem, perfeitamente, influenciar as abordagens e estratégias que esse indivíduo escolhe para adquirí-lo. Mas, tais conhecimentos não são os mesmos, como defendem alguns pesquisadores. Para alguns autores (Hofer e Pintrich, 1997; Sandoval, 2005), a falha nos estudos psicológicos sobre a epistemologia pessoal é inferir que as crenças expressas sobre o melhor modo de se aprender reflete concepções epistemológicas e não outras crenças ou motivos (obtenção de notas, ambiente, interesse etc).

A dificuldade da pesquisa na área não se limita ao fato de que muitas das crenças epistemológicas dos indivíduos serem de natureza inconsciente ou tácita, mas também, pela existência de diferentes posições teóricas sobre a natureza da epistemologia pessoal dos indivíduos.

Isso é reflexo do fato de que para tal construto são atribuídos diversos termos como epistemologia pessoal, crenças epistemológicas, formas de pensar, perspectivas epistemológicas, reflexões epistemológicas, pensamento epistemológico, teorias epistemológicas, recursos epistemológicos etc (Hofer e Pintrich, 2002). Essa diversidade de termos indica que, o que chamamos de concepções epistemológicas pode não ter o mesmo significado em todos os estudos ou que, pelo menos, de alguma forma o construto pode ser perifericamente diferente.

Sendo assim, o que realmente nos interessa nesse trabalho são as concepções epistemológicas que os indivíduos possuem no contexto das ciências e do ensino de ciências, ou seja, suas idéias sobre como o conhecimento científico é produzido e validado e suas principais características. Isto porque as crenças e concepções epistemológicas que o

indivíduo possui sobre esses diversos aspectos do conhecimento científico podem ser consideradas como sua epistemologia pessoal dentro do contexto da ciência (Driver e colaboradores, 1996; Bell e Linn, 2002).

Larochelle e Désautels (1991) entrevistaram 25 estudantes entre 15 e 18 anos para identificar suas crenças epistemológicas. Os autores puderam perceber que muitos estudantes possuíam uma visão realista e empiricista do conhecimento científico e de sua produção. Além disso, identificaram que não é fácil distinguir no discurso do estudante suas concepções sobre a ciência, das representações de suas atividades escolares em ciências.

Edmonson e Novak (1993) afirmam que há uma interação muito forte entre os conhecimentos epistemológicos dos estudantes e suas estratégias de aprendizagem, ou seja, os autores defendem a existência de uma relação dinâmica entre as concepções dos indivíduos sobre a estrutura e origem do conhecimento científico e suas abordagens e técnicas utilizadas para aprender ciências.

Sandoval (2005) utiliza o termo epistemologia formal para referir-se ao conjunto de idéias e concepções que os indivíduos possuem sobre o conhecimento científico, sua produção e validação através da ciência profissional e da atuação dos cientistas. O autor também utiliza o termo epistemologia prática, para referir-se ao conjunto de idéias e concepções que os estudantes possuem sobre a produção do seu próprio conhecimento na escola, durante a aprendizagem de ciências – as crenças epistemológicas que guiam sua prática. Essas crenças são sobre o que é o conhecimento, os métodos do indivíduo para produzi-lo e os critérios para avaliá-lo. Sandoval ainda alerta que ao referirmos à epistemologia como crenças e concepções, a idéia que pode ser transmitida é a de um conjunto de crenças coerentes e explícitas. Porém, ele defende que tais concepções podem perfeitamente manifestar-se de forma implícita e são, muitas vezes, de natureza tácita. Seus objetivos ao traçar essa distinção é defender a tese de que tais conhecimentos epistemológicos são diferentes e explicar a dificuldade em mudar as concepções dos indivíduos sobre a epistemologia formal apenas com aulas de ciências.

Hogan (2000) descreve uma variedade de conhecimentos sobre a natureza da ciência e também propõe duas instâncias para a epistemologia do indivíduo: os conhecimentos distal e proximal. O conhecimento distal da natureza da ciência refere-se aos conhecimentos do indivíduo sobre os protocolos, práticas e produtos da atividade da comunidade científica. Ela utiliza propositadamente o termo distal para conotar a idéia de distância dessas idéias da experiência escolar e cotidiana do indivíduo. O conhecimento proximal da natureza da ciência refere-se à compreensão e perspectiva do indivíduo quanto ao seu próprio processo de

construção do conhecimento científico. Esse conhecimento proximal está atrelado ao contexto das práticas escolares desenvolvidas pelo indivíduo ao longo do seu aprendizado em ciências. Apesar de propor a distinção entre essas instâncias, Hogan admite que tais conhecimentos podem interagir.

As denominações propostas por Hogan (2000) e Sandoval (2005) possuem pequenas diferenças, apesar de bastante semelhantes. A definição de conhecimento distal é, no geral, idêntica à concepção de Sandoval sobre a epistemologia formal. Porém, a concepção de Hogan sobre o conhecimento proximal compartilha o mesmo problema relacionado à epistemologia pessoal: ela conflui as concepções do indivíduo como aprendiz e sobre seu conhecimento.

Consideramos que as concepções epistemológicas dos indivíduos sobre a ciência e o conhecimento científico são organizadas mentalmente em forma de teorias, semelhante aos conhecimentos conceituais que os indivíduos possuem sobre os diversos campos da ciência (Smith e colaboradores, 2000; Stathopoulou e Vosniadou, 2007). É importante ressaltar que, o sentido atribuído ao termo *teoria* aqui para denotar uma estrutura explanatória que pode gerar explicações e previsões, mas que, diferentemente de uma teoria científica, não é explícita, nem muito bem elaborada ou fundamentada e também não é compartilhada socialmente. Também assumimos que mesmo consideradas como conhecimento conceitual, o indivíduo pode não ter consciência de parte de suas concepções epistemológicas.

Essa posição teórica está em concordância com os trabalhos sobre mudanças conceituais e é baseada no pressuposto de que até mesmo crianças possuem idéias e conceitos que são organizados na forma de teorias intuitivas sobre diversas áreas, sobretudo em ciências e que os conceitos utilizados nessas teorias evoluem e sofrem mudanças conceituais (Wellman e Gelman, 1992; Driver e colaboradores, 1996). Tal referencial assume que os indivíduos, desde a infância, fazem uso de termos teóricos abstratos ao gerar explicações sobre fenômenos naturais e do dia-a-dia e desenvolvem um ‘senso de mecanismo’ relativamente coerente e resistente à mudança (Koslowisk, 1996).

Portanto, assim como ocorrem com os diversos conceitos, como força, eletricidade, calor, velocidade etc, defendemos também, assim como Smith e colaboradores (2000) que crianças desenvolvem uma teoria sobre o conhecimento a partir de suas teorias mais gerais sobre a mente e seu funcionamento, entre as idades de 4 e 6 anos e que, com seu amadurecimento e crescimento, tais teorias vão se desenvolvendo, tornando-se gradualmente mais complexas. Tal desenvolvimento é fruto de suas experiências pessoais e, sobretudo, da instrução recebida. Além disso, devido à existência de vários domínios com os quais a criança

mantém contato (ciências, matemática, história etc), é possível que ela possa desenvolver conhecimentos epistemológicos diversos para diferentes domínios e, ao mesmo tempo, as crenças epistemológicas desenvolvidas em um determinado domínio possam auxiliar ou fornecer recursos para a reestruturação das crenças epistemológicas em outros domínios.

A concepção das crenças epistemológicas desta forma nos ajuda a compreender melhor como elas podem ser adquiridas e sofrerem mudanças, como elas podem influenciar na aprendizagem em áreas como a ciência e como é possível um indivíduo possuir epistemologias pessoais distintas para diferentes disciplinas.

Independentemente da abordagem conceitual ou teórica que fazemos do construto, mudanças nas crenças epistemológicas vêm sendo concebidas como uma transição da visão dualista/absolutista e objetivista do conhecimento para uma perspectiva cada vez mais relativista, subjetivista, contextual, avaliativa e construtivista do conhecimento. Smith e colaboradores descrevem a visão epistemológica construtivista da ciência como:

“uma epistemologia na qual os estudantes são cientes do papel central das idéias no processo de aquisição do conhecimento e de como essas idéias são desenvolvidas e revistas através de um processo de conjecturas, argumentação e teste.” (Smith e colaboradores, 2000, p. 350)

Tsai (1998) obteve indícios de que os estudantes com crenças mais empíricas (que o conhecimento científico emerge infalivelmente dos dados objetivos) tendem a aprender mais por memorização do que os estudantes com crenças mais construtivistas (o conhecimento científico é construído, temporário e sujeito continuamente a mudanças).

Stathopoulou e Vosniadou (2007) ressaltam a grande importância das crenças epistemológicas para a compreensão conceitual em Física, pois os alunos com crenças epistemológicas mais sofisticadas foram, em média, bem melhores no teste de conhecimento em física. Porém, as autoras ressaltam que possuir crenças epistemológicas sofisticadas não garante uma compreensão conceitual adequada, pois, alguns alunos com tais crenças, tiveram um desempenho ruim no teste conceitual.

Carey e Smith (1993) distinguem três níveis para a epistemologia pessoal dos indivíduos em relação à ciência que envolvem um conjunto de diferentes conceitos relacionados à estrutura do conhecimento científico e ao processo de aquisição desse conhecimento. E consideram também que a mudança de um nível para o outro envolve mudanças conceituais significativas.

Segundo os autores, as crianças inicialmente desenvolvem uma epistemologia do senso comum, na qual elas vêem o conhecimento emergir sem problemas e diretamente das experiências sensoriais e, para elas, esse conhecimento é apenas uma coleção de fatos, informações e crenças verdadeiras, definitivas e inquestionáveis. Não há a noção de que as crenças são organizadas em teorias ou que as observações são interpretadas de acordo com as idéias de cada um. À medida que as crianças crescem e devido também à influência da escolarização, os jovens começam a perceber o papel das idéias e teorias como referenciais para a interpretação das observações e também desenvolvem concepções mais complexas de como o conhecimento é justificado.

Assim, Carey e Smith apontam que as idéias contidas no Nível 1 são consistentes com uma epistemologia na qual o conhecimento é tido como certo e verdadeiro, no qual o estudante não faz uma distinção explícita entre as idéias dos cientistas e suas atividades para gerar essas idéias. Nesse nível, o objetivo da ciência é descobrir fatos e respostas sobre o mundo.

No Nível 2, o estudante faz uma distinção explícita entre idéias e experimentos. O objetivo da experimentação é testar uma idéia para verificar sua validade. Porém os estudantes não reconhecem por completo o papel das teorias e o processo de construção e refinamento dessas teorias no processo de construção do conhecimento científico.

No Nível 3, o estudante compreende a natureza conjectural das teorias explanatórias, o papel dos argumentos, das evidências e do ciclo de teste de hipóteses nas avaliações das teorias. Nesse nível, os estudantes atribuem à ciência o objetivo de construir explicações cada vez mais sofisticadas sobre o mundo.

Pesquisas posteriores na área de ensino de física (Smith e colaboradores, 2000; Sandoval e Morrison, 2003) utilizaram e expandiram os níveis propostos por Carey e Smith (1993) e sugeriram ainda níveis intermediários (1.5 e 2.5) para refinar a classificação das crenças epistemológicas dos participantes das pesquisas.

Thoermer e Sodian (2002) também utilizam um sistema de codificação da compreensão epistemológica de universitários e doutorandos segundo os níveis descritos acima. Foram entrevistados 60 estudantes. Os resultados indicam que a apreciação do papel de referenciais interpretativos na construção do conhecimento científico permanece, na melhor das hipóteses, implícita até mesmo para os estudantes de doutorado. Respostas para os níveis superiores, que revelam uma articulação explícita entre o papel das teorias e dos referenciais explicativos foram muito raras. Além disso, as autoras obtiveram um resultado surpreendente: o desempenho dos estudantes de graduação foi superior ao dos estudantes de

pós-graduação, mesmo estes estando atrelados às suas pesquisas.

Driver e colaboradores (1996) realizam um influente trabalho no qual desenvolveram atividades de julgamento em pequena escala em que os respondentes eram reunidos em grupos pequenos ou em duplas e, então, confrontados com questões ou pequenas histórias. O objetivo era estimular os estudantes a emitir opiniões e argumentos sobre as questões e registrá-las em entrevistas semi-estruturadas. As atividades e questões visavam esclarecer as opiniões dos estudantes sobre seis aspectos da atividade científica: (1) questões científicas; (2) experimentos; (3) teorias; (4) teoria e evidência; (5) credibilidade teórica; (6) debates científicos. Todas as questões e atividades versavam sobre contextos específicos. A grande variedade de contextos utilizada permitiu aos autores identificar padrões e tendências mais gerais.

Baseando-se nos dados coletados durante as entrevistas, Driver e colaboradores propuseram uma tipologia geral das representações e do raciocínio epistemológico dos estudantes. Eles também discriminam três diferentes níveis epistemológicos que foram denominados como: (1º) Raciocínio baseado em fenômenos; (2º) Raciocínio baseado em relações; (3º) Raciocínio baseado em modelos.

Os critérios adotados para identificar esses três níveis foram sobretudo: (a) a representação do aluno sobre o que constitui uma investigação científica; (b) a maneira como o aluno compreende a natureza e a função das explicações científicas; (c) o modo como o aluno estabelece relações entre explicações e descrições.

Os autores ressaltam que o referencial proposto é uma tipologia das representações epistemológicas identificadas no discurso dos participantes da pesquisa. Portanto, é uma tentativa de caracterizar o pensamento científico dos estudantes e de sumarizar as características principais de forma a ser útil para professores e pesquisadores. Eles observam ainda, que a visão dos estudantes sobre a natureza e o status da ciência não é absoluta e é extremamente influenciada pelo contexto (ver também Hammer e Elby, 2002; Leach e colaboradores, 2000). Driver e colaboradores ainda defendem que a compreensão da natureza da ciência é um componente essencial que facilita o aprendizado em ciências.

De forma geral, os autores afirmam que a maioria dos estudantes mais novos (9 anos) foram classificados como pertencentes ao primeiro nível. Já os estudantes de 12 e 16 anos apresentaram representações típicas do segundo nível. E praticamente nenhum estudante da amostra que eles pesquisaram demonstrou ter alcançado plenamente o terceiro nível, embora alguns apresentassem idéias que poderiam ser classificadas como próximos a esse nível.

5 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

Neste capítulo, descreveremos a metodologia utilizada para a realização da pesquisa. Iniciamos a seção 5.1 com uma breve discussão dos principais tópicos abordados nos capítulos anteriores e, a partir dessa discussão, levantamos e definimos as questões que nortearam todo o desenvolvimento metodológico.

Na seção 5.2 discutimos e caracterizamos as atividades desenvolvidas pelos estudantes ao longo do ano letivo. Na seção 5.3 descrevemos, em detalhes, a metodologia utilizada. Nela, faremos a descrição dos participantes da pesquisa, abordaremos o processo de construção dos instrumentos de pesquisa utilizados e as estratégias gerais para a coleta do material empírico.

5.1 Questões de pesquisa

As atividades práticas podem, como foi argumentado, promover uma melhor compreensão dos processos e conceitos envolvidos durante a experimentação, além de contribuir para o desenvolvimento de uma compreensão mais sofisticada sobre aspectos da natureza da ciência. Mas, as pesquisas já realizadas e discutidas no capítulo 3 revelam que os estudantes, de todos os níveis de ensino, enfrentam, em geral, dificuldades para compreender e executar os diversos processos e etapas de uma atividade prática.

Considerando, portanto, que apenas uma parte dos estudantes possui habilidades e competências adequadas para a realização satisfatória desse tipo de atividade, é necessário pesquisar e definir a influência e o impacto das atividades que são normalmente desenvolvidas nos laboratórios didáticos sobre a capacidade dos estudantes de planejar e conduzir atividades práticas, além de possibilitar o desenvolvimento de uma visão mais sofisticada da ciência.

Hofstein e Lunetta (1982) fazem uma revisão sobre a história e objetivos do laboratório de ciências e também de resultados de pesquisas sobre as aprendizagens dos estudantes nesse ambiente. Os autores argumentam que a área de avaliação do laboratório é negligenciada e que grande parte das pesquisas na área ignora questões importantes como: o

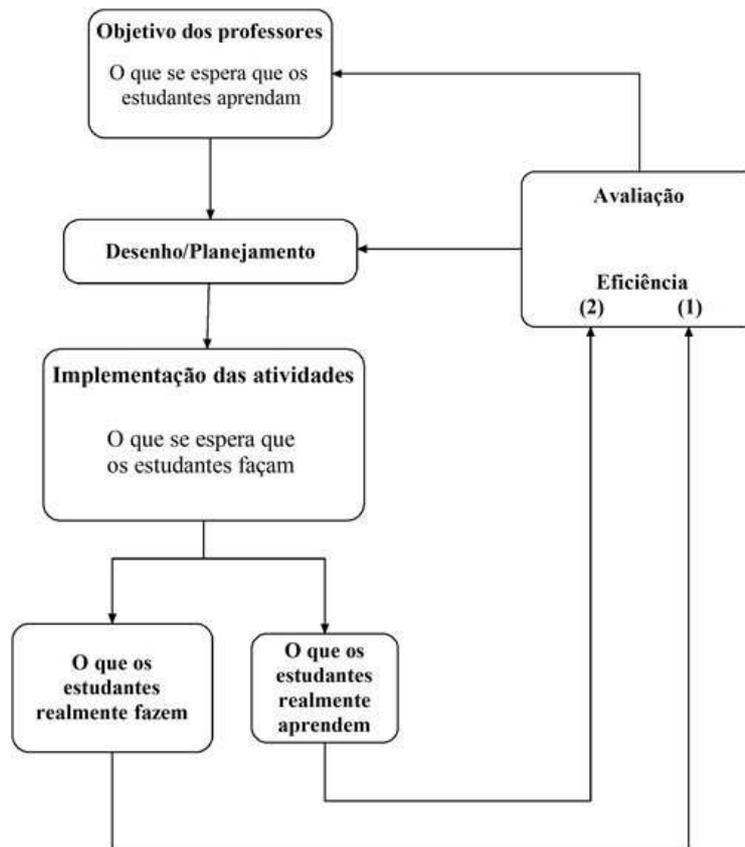
que os estudantes fazem durante as atividades?; ou o que eles realmente aprendem no laboratório?

Mas, se estamos nos referindo às aprendizagens decorrentes da realização de atividades práticas no laboratório, estamos, então, nos referindo à eficiência dessas atividades e, portanto, precisamos esclarecer o que entendemos por eficiência. Para isso, adotamos o modelo desenvolvido por Millar e colaboradores (1999; 2002) e Psillos e Niedderer (2002). Os autores consideram que a discussão sobre a eficiência do laboratório para promover a compreensão dos estudantes não deve manter o foco apenas sobre os conhecimentos conceituais e procedimentais que os estudantes aprendem. Eles consideram igualmente importante considerar também as ações dos estudantes durante as atividades e como eles lidam com as diversas situações nesse ambiente de aprendizagem.

Segundo esse modelo (figura 5.1), o ponto de partida é a definição, por parte dos professores ou dos desenvolvedores de currículo, dos objetivos pretendidos com as atividades. Esses objetivos especificam o que é esperado que os estudantes aprendam. Uma vez estipulados os objetivos, os professores especificam e elaboram as atividades para que os objetivos estipulados possam ser atingidos. Assim, quando os professores planejam a atividade e preparam sua implementação, é esperado dos estudantes uma série de ações e atitudes para que possam alcançar os objetivos.

Quando as atividades são implementadas e desenvolvidas, podemos observar o que os estudantes realmente fazem durante as atividades e também podemos avaliar o que eles realmente aprendem. Muitas vezes, por razões diversas, as ações e atitudes dos estudantes durante as atividades podem não coincidir com as ações esperadas ou planejadas pelos professores. Vale ressaltar que essas não são necessariamente ações físicas de manipular objetos, por exemplo. Elas podem ser ações cognitivas, emocionais e atitudinais, como engajar-se com a atividade, organizar dados, construir gráficos e tabelas. Uma medida da eficiência das atividades, chamada de ‘eficiência 1’ é obtida a partir do acordo entre as ações dos estudantes e as expectativas dos professores, ou seja, se o que os estudantes fazem está de acordo com o que foi realmente planejado para eles fazerem. Uma segunda medida da eficiência das atividades, chamada de ‘eficiência 2’ pode ser considerada como a comparação entre o que os estudantes aprendem com a realização das atividades e o que era esperado que eles aprendessem.

Figura 5.1 – A eficiência das atividades práticas



Dessa forma, enquanto a ‘eficiência 2’ mede o impacto ou a influência das realizações das atividades práticas sobre as aprendizagens dos estudantes, a ‘eficiência 1’ mede se as ações e atitudes dos estudantes durante as atividades aconteceram conforme planejado. Psillos e Niedderer deixam claro ainda que os dois tipos de eficiência estão muito relacionados, mas as metodologias de pesquisa para se avaliar cada eficiência são bastante distintas.

Pensamos que o que esses autores chamam de ‘eficiência 1’ está relacionado com a ideia de engajamento. A pesquisa sobre engajamento tem atraído cada vez mais a atenção dos pesquisadores na área educacional. Segundo essas pesquisas, o engajamento se refere à relação que o indivíduo estabelece com determinada atividade ou tarefa em função do contexto e das características da atividade. Fredricks, Blumenfeld e Paris (2004) definem o engajamento como um construto multidimensional no qual comportamento, emoção e cognição se influenciam e interagem mutuamente. Segundo os autores, o engajamento pode se dar em três níveis. O nível comportamental diz respeito à participação e inclui o envolvimento nas atividades acadêmicas, sociais e extracurriculares. Também inclui atitudes como esforço, persistência, concentração, atenção e participação durante a realização das atividades. O nível emocional envolve as reações afetivas positivas e negativas em relação à atividade, ao

professor, aos colegas de sala, ao clima da escola. O nível cognitivo refere-se ao investimento pessoal que o indivíduo realiza durante a atividade, ou seja, as estratégias metacognitivas utilizadas pelo indivíduo para planejar, monitorar e avaliar suas ações físicas e mentais durante a realização da atividade.

A ‘eficiência 1’ diz respeito ao engajamento comportamental, mais evidente, que pode ser diretamente observado quando os estudantes entendem o que a atividade prática propõe e se mobilizam para executá-la, tal como proposto pelo professor ou guia de atividades. Mas eles podem fazer isso com um verdadeiro envolvimento cognitivo, um engajamento com o problema proposto, tentando de fato compreender o que é o problema e que ações eles estão desempenhando para resolvê-lo e mobilizando conhecimentos e idéias que são pertinentes e válidos para explicar e descrever aquele problema. Só faz sentido falar nesse tipo de engajamento se a mobilização descrita pela ‘eficiência 1’ realmente acontece.

Muitas vezes, os estudantes mobilizam-se apenas superficialmente, como se fosse um jogo, em que o objetivo não é resolver o problema proposto e entendê-lo, mas sim obter alguns elementos que permitam que eles façam os cálculos ou responderem às questões, de forma que pareçam ter cumprido a tarefa. Nesse caso, não acontece um engajamento efetivo.

Porém, como engajamento é construto complexo e de difícil avaliação (Fredricks, Blumenfeld e Paris, 2004; Appleton e colaboradores, 2006), preferimos trabalhar com a idéia de eficiência, segundo o modelo proposto, por questões de clareza.

Para Fairbrother (1991), é necessário definir os objetivos da educação, antes de se iniciar o ensino e, analogamente, é necessário saber o que estamos ensinando, antes de iniciarmos um processo de avaliação. Portanto, para se investigar a eficiência das atividades práticas para o desenvolvimento dos conhecimentos e habilidades relativas ao processo de investigação, foi necessário, inicialmente, definirmos e caracterizarmos as atividades práticas mais comuns no ensino atual de ciências. Isso foi feito no capítulo 2. Feito isso, desenvolvemos um modelo sobre a natureza dos conhecimentos, habilidades e conceitos mobilizados pelos estudantes durante a realização dessas atividades (capítulo 3). Com o modelo desenvolvido, o conhecimento procedimental mobilizado pelos estudantes durante a realização das atividades pode ser concebido como composto por diversos elementos conceituais, representados pelos conceitos de evidência.

Com o desenvolvimento deste modelo, podemos discutir as características que as atividades devem possuir para estimular e desenvolver tais conceitos. Para se ensinar os conceitos e habilidades relacionados com o processo de investigação, é necessário, inicialmente, identificar o que os estudantes já sabem sobre esse processo. Comparada a

outras áreas de pesquisa em ensino de ciências, essa área de pesquisa tem recebido pouca atenção dos pesquisadores, situação que vem mudando nos últimos anos.

Em seguida, temos que procurar identificar o que os estudantes podem aprender com uma seqüência de ensino e atividades programadas dentro de um ano escolar normal (eficiência 2). Por fim, podemos ser capazes de dizer se as atividades planejadas podem e são adequadas para desenvolver tais habilidades e conceitos e o que pode ser feito para estimular ainda mais a aprendizagem dos estudantes.

Com esta pesquisa, esperamos obter informações sobre como os alunos compreendem as atividades que são propostas e o processo de investigação, o que eles já sabem sobre a execução de atividades práticas e como as estratégias utilizadas e a compreensão do que está envolvido nas atividades práticas evoluem ao longo de atividades normais, integralizadas ao currículo, realizadas ao longo do ano letivo, no laboratório de Física.

É interessante observar que, até pouco tempo atrás, as pesquisas sobre o conhecimento epistemológico e/ou as concepções sobre a natureza da ciência que os estudantes possuem ocorreram, em sua grande maioria, de forma independente das pesquisas sobre o desempenho dos estudantes em investigações. Uma conseqüência dessa separação entre investigação e epistemologia é que ainda não está claro se abordagens investigativas ou práticas pedagógicas centradas em investigações contribuem para o desenvolvimento ou para a mudança dos conhecimentos epistemológicos dos indivíduos sobre a ciência.

Portanto, buscamos obter uma melhor compreensão teórica e prática sobre os desenvolvimentos do pensar científico e do conhecimento epistemológico dos estudantes que podem resultar da resolução de diversas atividades e problemas práticos abertos, em um ambiente real de aprendizagem implementado no laboratório escolar, criado especialmente para deslocar o centro da atividade do aluno da manipulação de equipamentos e da medição para o pensar sobre o que se está fazendo (Borges e Borges, 2001).

Para tanto, é necessário responder a algumas questões que podem ser agrupadas em três conjuntos:

- O que os estudantes sabem sobre os conceitos de evidência ao ingressarem no ensino médio?
- Qual é a compreensão dos estudantes acerca da atividade científica e dos aspectos da natureza da ciência?
- Se, e de que forma, a compreensão dos estudantes sobre os conceitos de evidência e a natureza da ciência se modificam com a realização de uma seqüência de atividades desenvolvidas durante o ano letivo?

Assim, estamos interessados em saber quais as principais idéias e crenças dos estudantes sobre a natureza da ciência e conhecimento científico. Buscamos identificar também as principais dificuldades e os padrões comuns e recorrentes no raciocínio dos estudantes quando estes lidam com atividades relacionadas à coleta, análise e interpretação dos dados durante uma atividade experimental. Por fim, buscamos identificar o efeito de uma série de atividades sobre a compreensão dos estudantes sobre todo o processo de realização de atividades práticas experimentais.

Na próxima seção, descreveremos as atividades que foram desenvolvidas ao longo do ano letivo. Após essa caracterização, na seção 5.3, descreveremos a metodologia utilizada para responder às questões propostas.

5.2 As atividades desenvolvidas

A coleta de dados ocorreu em uma escola técnica de ensino médio da rede federal de ensino. No ano em que os dados foram coletados (2006), cerca de 30% dos estudantes foram admitidos para cursar o ensino médio apenas. O restante foi admitido, por concurso, para cursar o ensino médio e técnico concomitantemente. No primeiro ano, predominam as disciplinas de formação média geral. O currículo de Física dessa escola foi reformulado em 2003. Foi adotada uma estrutura em espiral e recursiva. Os conteúdos dessa disciplina foram redistribuídos para que possa ser apresentada aos alunos uma visão geral de todo o conteúdo de Física já no primeiro ano do ensino médio. Segundo Borges, Borges e Talim (2007), num currículo com essa estrutura, os mesmos temas, mas não necessariamente os mesmos conteúdos serão retomados nas séries posteriores para aprofundamento. Idealmente, a cada ano a espiral dá uma volta completa varrendo vários dos temas comumente trabalhados no curso de Física do ensino médio.

Dessa forma, o primeiro ano prioriza a introdução das linguagens e códigos da Física. São trabalhados conteúdos no domínio da Mecânica (cinemática e leis de Newton), Termodinâmica (termologia), Eletromagnetismo (circuitos elétricos) e uma breve introdução à Teoria da Relatividade e à quantificação da energia.

Nessa escola, o currículo de Física tem um forte apelo experimental, aproveitando-se da estrutura de laboratórios e os recursos disponíveis. Sendo assim, os estudantes realizam

atividades práticas quinzenalmente. As turmas são subdivididas em duas sub-turmas cada, com aproximadamente quinze estudantes. A cada semana, uma sub-turma realiza as atividades propostas.

Segundo os coordenadores de Física dos três anos do ensino médio da escola, os objetivos pedagógicos gerais do trabalho no laboratório são que os estudantes aprendam as normas de comunicação dos relatos de investigações, desenvolvam habilidades de propor e planejar experimentos para resolver problemas práticos, aprendam a identificar variáveis dependentes e independentes e desenhar testes experimentais com controle apropriado de variáveis, aprendam a reconhecer e estimar os erros experimentais, a fazer previsões e propor explicações para os fenômenos observados, entre outros. Especialmente para o primeiro ano do ensino médio, deseja-se que os estudantes possam, ao final do ano, realizar medidas satisfatoriamente, construir corretamente gráficos e tabelas e comunicar de forma clara e objetiva os seus resultados através de relatórios.

Ao longo do ano letivo, foram desenvolvidas 13 atividades no laboratório de Física. As atividades envolveram conceitos de mecânica (movimento uniforme e variado, energia, sistema massa-mola e força elástica) e eletricidade (montagem de circuitos simples com pilhas e lâmpadas, medidas elétricas de diferença de potencial e corrente em circuitos em série e paralelo simples). Algumas delas eram divididas em duas partes. Na primeira parte os alunos planejavam a atividade e na segunda parte, executam-na. Para descrevermos essas atividades, utilizaremos um referencial semelhante ao desenvolvido por Millar e colaboradores (1999; 2002), com algumas modificações e simplificações. Tal referencial tem como objetivo fornecer diversas informações sobre as atividades desenvolvidas que podem ser úteis para futuras modificações e aprimoramentos no laboratório. Tal sistema de classificação das atividades se mostrou muito efetivo em um trabalho posterior (Tiberghien e colaboradores, 2001), no qual os autores utilizaram esse referencial para classificar e comparar 75 atividades práticas típicas do ensino médio em cinco países e 90 atividades do ensino superior em seis países, divididas em três áreas (Física, Química e Biologia).

O referencial apresentado aqui é útil, pois analisa as atividades práticas em diversos aspectos: (1) objetivo; (2) as ações físicas e mentais dos estudantes, incluindo o manuseio de aparatos, realização de observações e criação de objetos; (3) aspectos para os quais não há evidências observáveis; (4) atividade mental, como modelagem ou formulação de hipóteses; (5) a natureza da atividade como duração, grau de abertura e o tipo de aparato envolvido; (6) o grau de envolvimento e participação esperada dos estudantes etc.

O referencial para analisar as atividades práticas tem, basicamente, quatro dimensões principais como mostra o quadro 5.1. A primeira dimensão relaciona-se com os propósitos que levaram os professores a planejar a atividade, ou seja, o que se espera que os alunos aprendam com a realização da atividade. A segunda dimensão é sobre o que se espera que os estudantes façam. A terceira dimensão analisa o grau de abertura e a natureza de envolvimento esperado dos estudantes durante a atividade. A quarta dimensão relaciona-se com o contexto prático da atividade, como a duração, informações disponíveis para os alunos, a natureza e o propósito dos relatos das atividades produzidos pelos estudantes.

Quadro 5.1 – As dimensões principais das atividades práticas

A – A aprendizagem esperada
B – O que se espera que os estudantes façam
B.1 – com os objetos e entes observáveis
B.2 – com as idéias
C – Natureza da atividade
C.1 – Grau de abertura
C.2 – Envolvimento dos alunos
D – Aspectos práticos da atividade

Passaremos, agora, a analisar as atividades desenvolvidas pelos estudantes segundo essas dimensões. Para cada aspecto identificado, está representado também o total de ocorrência desse aspecto no conjunto das atividades desenvolvidas. É importante observar que os totais assinalados nas tabelas abaixo podem somar mais de treze (número de atividades desenvolvidas). Isso acontece porque, em algumas atividades práticas, os estudantes, em um primeiro momento deveriam planejar a atividade e, posteriormente, executá-la.

5.2.1 Dimensão A: a aprendizagem esperada com a atividade

Um elemento central da análise das atividades práticas é a descrição dos objetivos pedagógicos atribuídos pelos professores às atividades, ou seja, quais as aprendizagens que se espera dos alunos ao realizar a atividade. Os objetivos pedagógicos podem se dividir em dois grandes grupos: conteúdo e processo. O primeiro relaciona-se com as aprendizagens de aspectos do conhecimento científico. Já o segundo, relaciona-se com aspectos do processo de

investigação científica. As categorias que compõem os dois grupos estão presentes na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – A aprendizagem esperada com a atividade

Conteúdo	Identificar objetos e fenômenos e torná-los familiar aos estudantes	4
	Aprender um fato (ou fatos)	7
	Aprender um conceito, uma relação ou um modelo	9
Processos	Aprender como utilizar um equipamento	5
	Aprender como realizar determinado procedimento	3
	Aprender a formular e explicitar suas hipóteses	9
	Aprender como planejar uma investigação para responder a determinada pergunta ou problema	3
	Aprender como processar, representar e analisar dados	8
	Aprender como utilizar os dados para obter relações entre eles e para sustentar uma conclusão ou propor explicação	5
	Aprender como comunicar os resultados da atividade	13

Parte das categorias dispensa explicações, mas algumas carecem de maiores esclarecimentos. Um ‘fato’ por exemplo, significa afirmações diretas, fruto de observações como ‘o movimento do corpo no plano inclinado é acelerado’. Uma ‘relação’ significa um padrão ou uma regularidade nas observações de um conjunto de objetos, entidades ou materiais, ou seja, uma lei empírica.

Podemos ver que as atividades desenvolvidas ao longo do ano tiveram objetivos diversos. Com relação aos conteúdos, o objetivo mais comum foi a aprendizagem de conceitos e o estabelecimento de relações entre as grandezas físicas envolvidas, além de fatos, muitas vezes, relacionados com essas relações.

Os objetivos associados aos processos estão diretamente relacionados aos conceitos de evidência e também foram amplamente contemplados, principalmente o de comunicar os resultados da atividade através de relatórios que eram apresentados na aula seguinte no caderno de relatórios. Objetivos como aprender a processar, representar, analisar dados e utilizar esses dados para obter relações, para formular explicações e argumentos e sustentar uma conclusão foram trabalhados através de questões colocadas nas folhas de atividade e também com discussão em sala com o professor.

5.2.2 Dimensão B: o que se espera que os estudantes façam

A dimensão B analisa o que se espera que os estudantes façam durante a atividade e também durante a produção do relatório. Essa dimensão pode ser dividida em duas partes: o que se espera que os estudantes façam com os objetos e os entes observáveis e também com as idéias envolvidas na atividade.

5.2.2.1 Subdimensão B1: o que se espera que os estudantes façam com os objetos e entes observáveis

Em toda atividade, pressupõe-se que os estudantes manuseiem objetos e entes observáveis. Em algumas atividades, espera-se que os estudantes utilizem algum instrumento ou um aparelho de laboratório. Em alguns casos, são instrumentos de simples manipulação, em outros, instrumentos mais sofisticados. Em outras atividades, os alunos devem construir ou produzir algum objeto, como montar um circuito elétrico ou um modelo físico. Na maioria das atividades, os estudantes devem observar algo e registrar suas observações. A observação pode ser de um objeto, um evento, os valores assumidos por uma variável que descreve um fenômeno. Essa observação pode ser quantitativa ou qualitativa. A fonte de dados para as observações pode ser uma montagem ou decorrente de vídeo ou de uma simulação computacional. Além disso, numa atividade pode haver vários entes observáveis. Na tabela 5.2 abaixo, estão as diversas ações possíveis dos estudantes em relação aos objetos e observáveis.

Na grande maioria das atividades, os estudantes lidaram com algum instrumento de medida. Eles também utilizaram instrumentos e aparatos próprios de laboratório como plano inclinado, disparador de projétil, cronômetro, voltímetro, amperímetro, marcador de fita, régua, transferidor etc. Os estudantes fizeram diversos circuitos elétricos e construíram pêndulos e sistemas massa-mola. Também produziram eventos e fenômenos como acender uma ou mais lâmpadas ou fazer um carrinho descer um plano inclinado.

Os estudantes observaram, na primeira aula do laboratório, uma representação de uma carta celeste, que pode ser considerada um objeto. Nas demais aulas, os estudantes observaram um evento ocorrer, como o repicar de uma bola em diferentes tipos de piso ou o movimento de um pêndulo. Eles também observaram entidades físicas como tempo de oscilação do pêndulo, a distância percorrida a cada 0,10 segundos por um carrinho num plano

inclinado ou em queda livre, o tempo de subida de uma bolha de ar num tubo fechado com água, a distensão de uma mola submetida a forças diferentes.

Tabela 5.2 – O que se espera que os estudantes façam

Utilizar	Um instrumento de medida	12
	Um aparato ou equipamento de laboratório	6
Fazer	Um objeto	5
	Um evento ocorrer	4
Observar	Um objeto	1
	Um evento	8
	Uma entidade física (uma variável)	7

5.2.2.2 Subdimensão B2: o que se espera que os estudantes façam com as idéias

A subdimensão B2 considera as várias possibilidades do que se espera que os estudantes façam com as idéias. Algumas atividades requerem simplesmente que os estudantes reportem alguma observação, decidindo sobre o que deve ser observado e reportado. Em outras atividades, os estudantes devem analisar o comportamento de objetos e fenômenos e identificar padrões como mudanças ao longo do tempo, similaridades entre casos observados etc. Outras requerem que os estudantes façam previsões antes de realizar medidas e observações, identifiquem relações entre objetos (o posicionamento de fios, lâmpada e pilha para o funcionamento adequado de um circuito), entre objetos e variáveis (número de lâmpadas no circuito, tamanho da pilha e brilho de uma lâmpada) ou entre variáveis (relação entre a massa do pêndulo e seu período ou a relação entre corrente total e corrente nas malhas de um circuito paralelo). Outra ação possível é a determinação do valor de uma grandeza de forma indireta. Um tipo comum de atividade requer que os estudantes testem uma previsão. Essa previsão pode ser fruto de um palpite, de uma hipótese ou de uma teoria. Finalmente, algumas atividades requerem que os estudantes expliquem as observações feitas. Durante a explicação, o estudante pode utilizar seus conhecimentos para explicar o fenômeno em termos de uma dada lei ou teoria ou, ainda, apresentar o fenômeno antes da teoria para que os estudantes possam desenvolvê-la. A tabela 5.3 apresenta os diversos aspectos da subdimensão B2.

Uma ação comum em aulas de laboratório é reportar as observações realizadas. Na maioria das atividades, alguma observação deveria ser feita e, conseqüentemente reportada. O

direcionamento da observação dos estudantes era feito através de perguntas. O valor apresentado na tabela, se refere às atividades onde o ato de reportar as observações foi mais destacado e relevante para a atividade em geral.

Tabela 5.3 – O que se espera que os estudantes façam com as idéias

	Reportar observações	7
	Identificar padrões	5
	Objetos	1
Explorar a relação entre	Quantidades físicas (variáveis)	11
	Objetos e quantidades físicas	4
	Determinar o valor de uma quantidade física de forma indireta	8
	Fazer previsões, formular hipóteses e produzir explicações	9
	Testar uma hipótese e/ou confrontar as observações e previsões	9

Os estudantes identificaram padrões como a mudança no brilho de uma estrela com o tempo ou o deslocamento de uma bolha de ar no tubo com água em intervalos iguais de tempo. Os estudantes também exploraram a relação, principalmente entre variáveis, como a massa e o período do pêndulo, a tensão da fonte e as quedas de tensão nos componentes de um circuito em série. Uma habilidade muito explorada foi a determinação de grandezas físicas de forma indireta, através de geometria, cálculos e, sobretudo, através da inclinação da reta de diversos gráficos.

Além disso, na maioria das atividades, os estudantes eram estimulados, através de perguntas a escreverem suas previsões e hipóteses antes do experimento e, após a realização do experimento, deveriam contrapor suas previsões com os resultados obtidos e procurar explicações para os resultados obtidos.

5.2.3 Dimensão C – Grau de abertura e natureza do envolvimento dos estudantes

A dimensão C aborda dois aspectos importantes que são grau de abertura e como se deu o envolvimento dos estudantes durante a realização das atividades.

5.2.3.1 Subdimensão C1: grau de abertura da atividade

Um aspecto bastante recorrente nas análises de atividades práticas é com relação ao grau de abertura da atividade (Tamir, 1991; Borges, 2002). As atividades práticas podem diferir bastante quanto à autonomia que os estudantes têm para realizar as diversas etapas da atividade. A tabela 5.4 representa o tipo de atividade que os alunos desenvolveram ao longo do ano letivo, de acordo com essa classificação.

Podemos ver que boa parte das atividades pode ser classificada como Nível 1 segundo a classificação proposta por Tamir (1991) porque a questão a ser respondida e os procedimentos são fornecidos pelo professor através dos roteiros das atividades, ficando os alunos a cargo de formular apenas as conclusões.

Espera-se que, com a realização de uma seqüência de atividades, de variados graus de abertura e especificação, os estudantes sejam capazes de resolver problemas mais complexos, numa gama maior de contextos e domínios e, ao mesmo tempo, de desenvolver estratégias de experimentação mais sofisticadas. Acreditamos que a seqüência das atividades deve partir de atividades familiares, mais estruturadas, com poucas variáveis e progressivamente introduzir atividades mais complexas, com maior número de variáveis e mais abertas.

Tabela 5.4 – Grau de abertura das atividades

Aspectos da atividade prática	Especificados pelo professor	Decididos através de discussão	Especificados pelos estudantes
Questão a ser respondida	11	1	2
Equipamentos a serem utilizados	10	1	3
Procedimentos a serem seguidos	9	1	4
Métodos de analisar os dados	10	0	3
Interpretação dos resultados	7	2	4

Porém, algumas atividades, nas quais os estudantes tinham que decidir os procedimentos, os instrumentos a serem utilizados e a forma como iriam interpretar os dados, possuíam um maior grau de abertura.

Durante o ano letivo, os estudantes realizaram duas investigações completas, nas quais deveriam formular as questões e também executar a atividade, sendo responsável portanto, por todos os passos (Nível 3).

5.2.3.2 Subdimensão C2: natureza do envolvimento dos estudantes

A subdimensão C2 descreve a natureza e o grau de envolvimento dos alunos durante a realização das atividades. Na tabela 5.5 estão presentes quatro níveis de participação. Num nível de participação pequeno, os alunos apenas observam as demonstrações realizadas pelo professor. No nível mais elevado, o estudante realiza todos os procedimentos da atividade, individualmente ou em grupo.

Tabela 5.5 – Grau de envolvimento dos estudantes

Demonstrada pelo professor; estudantes observam.	0
Demonstrada pelo professor; estudantes observam e participam quando solicitados.	2
Desenvolvida pelos estudantes em grupo	14
Desenvolvida individualmente	0

Podemos ver que, na grande maioria das atividades desenvolvidas, os estudantes tiveram um alto grau de envolvimento, realizando todas as etapas da atividade. Nas atividades, normalmente, os estudantes recebiam o roteiro da atividade e, em grupos de 3 ou 4, realizavam toda a atividade. O professor ficava disponível para esclarecimento de dúvidas e auxiliá-los quando solicitado. Em uma das atividades, que abordava o movimento de queda livre, os professores realizaram os experimentos, pois o aparato utilizado não era de fácil manuseio. Em outra atividade, os estudantes receberam os dados já coletados e organizados na forma de tabelas. O objetivo da atividade era que os estudantes analisassem os dados e os representassem graficamente para responder às questões propostas.

5.2.4 Dimensão D – Contexto prático da atividade

A dimensão D relaciona-se com o contexto prático da atividade, como a duração, informações disponíveis para os alunos, a natureza e o propósito dos relatos das atividades produzidos pelos estudantes. Nessa dimensão, Millar e colaboradores (1999; 2002) fazem um detalhamento excessivo, colocando em seu modelo, várias características e aspectos que não

são contemplados, nem se aplicam no contexto das atividades aqui discutidas. Assim, optamos aqui por descrever apenas os aspectos mais relevantes, aplicáveis no nosso contexto. O quadro 5.2 resume as informações sobre a dimensão do contexto prático das atividades desenvolvidas.

Esperamos que com esse referencial tenhamos alcançado nosso objetivo que era o de apresentar uma caracterização e descrição das atividades realizadas ao longo do ano letivo. Passaremos agora a descrever, em detalhes, a metodologia utilizada para a coleta de dados para responder às questões propostas na seção 5.1.

Quadro 5.2 – Contexto prático da atividade

Aspecto	Descrição geral aplicada às atividades realizadas
Duração	A maioria das atividades teve uma duração de 2 aulas geminadas (100 minutos). Apenas uma das atividades de planejamento e execução ocupou 4 aulas: duas para planejamento e duas para execução da atividade.
Pessoas com as quais os alunos interagiram	Durante todas as atividades, os alunos podiam interagir livremente entre eles e, sempre que achassem necessário, poderiam recorrer ao professor. Este sempre fornecia alguma informação inicial sobre a atividade e acompanhava a execução da atividade.
Informações disponíveis	Os alunos podiam consultar livremente o livro texto adotado. Todas as práticas eram acompanhadas por um roteiro, com os principais passos identificados.
Tipo de instrumento utilizado	Os alunos utilizaram instrumentos tradicionais de laboratório. Não utilizaram sistemas de aquisição automática de dados.
Fonte de dados	Os alunos obtiveram os dados dos experimentos realizados. Em apenas uma atividade, os dados já estavam prontos e eles deveriam analisá-los. Não foi utilizado nenhum vídeo, simulação ou qualquer outra fonte de dados.
Avaliação	Em todas as atividades, os alunos deveriam fazer o relatório da atividade, que era entregue na semana seguinte. Este relatório era avaliado e corrigido pelo professor.

5.3 Metodologia da pesquisa

Como já foi dito, os documentos oficiais atuais que regem a educação básica em ciências de diversos países defendem o objetivo de desenvolver a competência dos estudantes

em conduzir atividades práticas investigativas e, conseqüentemente, o desenvolvimento de uma visão mais contemporânea da ciência do ponto de vista filosófico e epistemológico.

Porém, a pesquisa sobre o desempenho dos estudantes durante a realização de investigações e de fatores que os influenciam nessas atividades é limitada devido a alguns problemas correlacionados que os pesquisadores da área enfrentam. O primeiro problema é a falta de consenso entre especialistas da área sobre que aspectos da natureza da ciência os estudantes devem aprender e sobre as melhores estratégias para ensiná-los. Outro problema é a confusão de termos associados ao conhecimento procedimental mobilizado pelos estudantes durante as atividades práticas. Como vimos, termos como ‘processos’, ‘habilidades’, ‘capacidades’, ‘procedimentos’ e ‘métodos’, são freqüentes na literatura e utilizados de forma indistinta sem uma clara definição. Mas, mais além dessa confusão de termos, o que mais contribui para prejudicar a pesquisa na área é a falta de um consenso sobre a natureza dos conhecimentos procedimentais utilizados pelos estudantes.

As pesquisas sistemáticas sobre o desempenho dos estudantes durante atividades práticas iniciaram-se no final da década de 70. Tais pesquisas foram motivadas pelo objetivo de se avaliar a habilidade dos estudantes em *fazer ciências* e não apenas de *saber ciências*. Um bom exemplo dessas pesquisas é o APU (*Assessment of Performance Unit*), implementado no Reino Unido, que avaliou cerca de duzentos e cinquenta mil estudantes de idades entre 11 e 15 anos e se estendeu entre os anos de 1980 a 1985 (Doran, Lawrenz e Helgeson, 1994; Gott e Duggan, 1995).

Outras formas de avaliação semelhantes foram implementadas ao longo dos anos 80 e 90. Gott e Duggan (1995) e Solano-Flores, Shavelson, Bachman (1999) dão exemplos recentes de avaliações do desempenho dos estudantes durante a realização das atividades práticas. Nessas avaliações, a metodologia de aplicação das atividades é praticamente a mesma. São montadas algumas ‘estações de trabalho’ no laboratório. Em cada estação, há uma atividade que o estudante deve realizar. Essas atividades são planejadas para durarem até 30 minutos. Assim, de forma independente, o estudante circula pelas estações, realizando todas as atividades previstas.

Fairbrother (1991) alerta que avaliações práticas como o APU concentravam-se em atividades que produzissem resultados que pudessem ser facilmente codificados e analisados por um examinador externo. Uma série de tarefas padronizadas foi desenvolvida. As tarefas consistiam em configurar um experimento de determinada maneira, utilizar um instrumento de forma adequada, realizar medidas etc. Além disso, Giddings, Hofstein e Lunetta (1991)

apontam para a tendência dos professores em suas escolas de escolherem e enfatizarem as atividades semelhantes às da avaliação.

Além disso, no geral, essas pesquisas avaliam o desempenho de um grande número de estudantes e são desenvolvidas em países (Reino Unido, Estados Unidos e países da Europa, por exemplo) cujo currículo enfatiza o ensino de ciências através de atividades práticas em todo o período de educação básica. Portanto, essas pesquisas são financiadas por órgãos do governo e as escolas participantes possuem toda estrutura de laboratórios e materiais necessários. Além disso, é necessária uma complexa infra-estrutura envolvendo a comunicação entre as escolas, governo e comissão avaliadora.

Para a realidade brasileira, esse tipo de avaliação é inviável. Inicialmente, pela falta de uma estrutura adequada de laboratórios e equipamentos na maioria das escolas, principalmente as públicas. O grande número de alunos por turmas também contribui para inviabilizar esse tipo de avaliação, que demandaria um tempo muito grande.

Como ainda não há meios reconhecidos e estabelecidos para avaliar o desempenho dos estudantes ao conduzir atividades práticas e os que existem também são passíveis de crítica, construímos um referencial teórico para podermos identificar e caracterizar os conhecimentos e habilidades mobilizadas pelos estudantes no laboratório. Isso nos possibilita meios de compreender melhor as ações, atitudes e pensamentos dos alunos enquanto realizam as atividades, de identificar características dos instrumentos de pesquisa e de metodologia para respondermos às questões de pesquisa propostas.

O aspecto mais importante do referencial criado é a consideração de que o conhecimento procedimental envolve habilidades manuais e técnicas e, fundamentalmente, conhecimentos conceituais e idéias, chamados de conceitos de evidência, que coordenam as ações e pensamento dos estudantes durante as atividades.

Essa caracterização do conhecimento procedimental amplia as possibilidades metodológicas das pesquisas na área, uma vez que boa parte deste conhecimento pode ser acessada através de instrumentos conhecidos como de 'lápiz e papel', como perguntas diretas, questionários, perguntas contextualizadas etc.

Assim, o desenho metodológico dessa pesquisa foi norteado pelas questões de pesquisa levantadas na seção 5.1. Ao contrário das pesquisas anteriores (citadas nos capítulos 3 e 4), este estudo foi desenhado utilizando-se a estratégia do pré/pós-teste e acompanhamento de várias atividades. Vários instrumentos de lápis e papel foram desenvolvidos e aplicados nas semanas iniciais do ano letivo. Tais instrumentos eram compostos por questionários com questões abertas e fechadas, questionário tipo Likert e testes

específicos. As atividades de duas turmas foram acompanhadas, com registro em vídeo das atividades práticas realizadas por grupos de estudantes. Alguns estudantes foram entrevistados individualmente e outros em grupo. Os mesmos instrumentos foram reaplicados próximo do final do ano letivo. A maioria das pesquisas descritas no capítulo de revisão bibliográfica fornece apenas uma representação estanque/momentânea das compreensões dos estudantes sobre os processos envolvidos durante uma atividade prática e das concepções epistemológicas dos participantes.

Além disso, pudemos verificar que poucos trabalhos avaliam concomitantemente as habilidades e conhecimentos dos estudantes sobre o processo de investigação e suas crenças epistemológicas, ou seja, qual é a relação entre a realização de atividades práticas e as crenças epistemológicas dos estudantes.

Para avaliar o impacto e a importância das atividades pedagógicas trabalhadas sobre os conhecimentos epistemológicos e procedimentais dos estudantes, faz-se necessário um estudo que se utiliza da reaplicação dos instrumentos de coleta de dados.

Portanto, para responder às questões propostas, realizamos um estudo que pode ser considerado como longitudinal:

“Um estudo longitudinal é aquele no qual duas ou mais coletas de dados ou observações de formas comparáveis são feitas, com os mesmos indivíduos ou entidades, ao longo de um período de pelo menos um ano.” (White e Arzi, 2005, p. 138).

Em um estudo longitudinal, devem-se ter duas preocupações básicas. A primeira é a adoção de um espaçamento adequado entre as coletas de dados para permitir que as mudanças e os conhecimentos adquiridos pelos indivíduos possam ser assimilados e incorporados. A segunda é a utilização, nas diversas coletas de dados que podem ocorrer, de instrumentos semelhantes, passíveis de comparação entre si.

5.3.1 Sujeitos da pesquisa

Os participantes da pesquisa foram todos os estudantes matriculados no 1º ano do ensino médio da referida escola. Obtivemos uma autorização prévia da diretoria da escola para coletar os dados necessários para a pesquisa (Anexo A). Dos 261 estudantes matriculados, 250 participaram de pelo menos uma coleta de dados da pesquisa. Os

estudantes, no início do ano letivo foram divididos em oito turmas, com trinta a trinta e quatro alunos em cada turma. Quatro professores de física eram responsáveis pelas aulas de Física, ficando, com duas turmas cada. A solicitação de autorização prévia para a pesquisa também foi entregue aos professores e todos autorizaram sua realização. Eles se dispuseram a participar da pesquisa e aplicar os instrumentos quando necessário (Anexo B).

Antes de participarem efetivamente da pesquisa, todos os participantes tiveram que ler um termo formal de adesão à pesquisa, conforme os procedimentos recomendados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais. Tanto os alunos menores, quanto os maiores de idade que aceitavam participar da pesquisa tiveram também de comunicar aos seus pais e/ou responsáveis, sendo que um responsável também deveria assinar o termo de consentimento livre e esclarecido, conjuntamente à assinatura do estudante (Anexos C e D). Em momento algum os estudantes foram coagidos a participar da pesquisa.

Optou-se por trabalhar com alunos do 1º ano do ensino médio principalmente porque, por serem do 1º ano, a experiência dos alunos em atividade de laboratório ainda é limitada ou nula, o que assemelha a amostra utilizada aos demais estudantes brasileiros recém ingressos no ensino médio, uma vez que o contato, ainda no ensino fundamental, com atividades em laboratório não é comum na maioria das escolas brasileiras. Apesar disso, não podemos generalizar os nossos resultados para escolas típicas da rede pública de ensino, visto que a maior parte dos estudantes passam por uma seleção para ingressarem na escola. Tal seleção era realizada na época em que os dados foram coletados com base em um teste de seleção, sendo que os candidatos concorriam em três faixas sócio-econômicas, de acordo com a renda familiar.

5.3.2 Instrumentos de pesquisa

Avaliamos nessa pesquisa o que os estudantes já sabem sobre os conceitos de evidência ao iniciar o ensino médio e quais são os padrões recorrentes no raciocínio dos estudantes quando estes lidam com atividades relacionadas à coleta, análise e interpretação dos dados. Também avaliamos as crenças epistemológicas dos estudantes, ou seja, suas compreensões acerca da atividade científica e sobre alguns aspectos da natureza da ciência. Além disso, procuramos estudar o desenvolvimento desses conhecimentos e crenças após realizarem uma seqüência de atividades práticas durante o ano letivo.

Para melhor organização, a apresentação dos instrumentos será realizada em duas seções. Na seção 5.4.2.1 apresentaremos os instrumentos utilizados para a avaliações dos conceitos de evidência e, na seção 5.4.2.2, apresentaremos os instrumentos que utilizamos para identificar as crenças epistemológicas e a visão da natureza da ciência dos participantes.

5.3.2.1 – Instrumentos para avaliação dos conceitos de evidência

Como vimos, ao considerarmos o conhecimento procedimental dos estudantes como constituído, sobretudo, de conhecimentos conceituais, representados pelos conceitos de evidência, ampliamos nossas possibilidades de utilização de instrumentos de pesquisa. Outras pesquisas (Lubben e Millar, 1996; Allie e colaboradores, 1998; 2001; Rollnick e colaboradores, 2001) também compartilham desse referencial e adotam instrumentos de mesma natureza dos utilizados nessa pesquisa.

No quadro 5.3 está descrita a relação dos conceitos de evidência abordados na pesquisa. Podemos ver que, para cada conceito, há questões específicas ou teste específico. As questões foram divididas em dois questionários, como será explicado na seção 5.4.3. Passaremos agora a ver os detalhes da construção de cada um dos instrumentos utilizados na pesquisa.

Quadro 5.3 – Seqüência de apresentação dos instrumentos

Conceito de evidência	Instrumento	Questão/item
Testes adequados e consistentes	Teste de reconhecimento	
	Questionário CE-1	Questão 2
Tamanho da amostra	Questionário CE-1	Questão 3 – item (i)
Reprodutibilidade	Questionário CE-1	Questão 3 – item (ii) e (iii)
Validade e Confiabilidade	Questionário CE-1	Questão 1
	Questionário CE-2	Questão 2 – item (i)
	Questionário CE-1	Questão 3 – item (iv)
	Questionário CE-2	Questão 2 –item (ii)
Gráficos e tabelas	Questionário CE-2	Questão 3
	Questionário CE-1	Questão 4

5.3.2.1.1 Conceito de evidência: testes adequados e consistentes

Aplicamos um teste para avaliarmos as habilidades dos estudantes em reconhecer situações experimentais nas quais ocorrem um controle efetivo das variáveis e também, a habilidade de rejeitar configurações experimentais quando esse controle não é eficiente.

Esse instrumento foi composto de uma série de esquemas experimentais que abordavam um determinado problema. O problema consistia em um estudante que desejava determinar a influência das diversas variáveis presentes sobre o tempo que uma esfera gasta para percorrer um plano inclinado. Os estudantes deveriam contrastar as situações representadas entre dois desenhos distintos. Cada um dos dois desenhos ou esquemas apresentava um sistema com um conjunto particular de variáveis, que indicavam que aspectos da situação eram alterados e quais permaneciam iguais, sendo que o contraste entre cada par de situações representava um experimento realizado pelo estudante.

O teste foi apresentado sob a forma de um livreto com 6 páginas, sendo uma página de instrução antes da situação-problema e cinco contendo um esquema de um experimento em cada página (Figura 5.2) . No quadro 5.4 estão resumidas as características da situação-problema.

Quadro 5.4 – Características do problema abordado no teste.

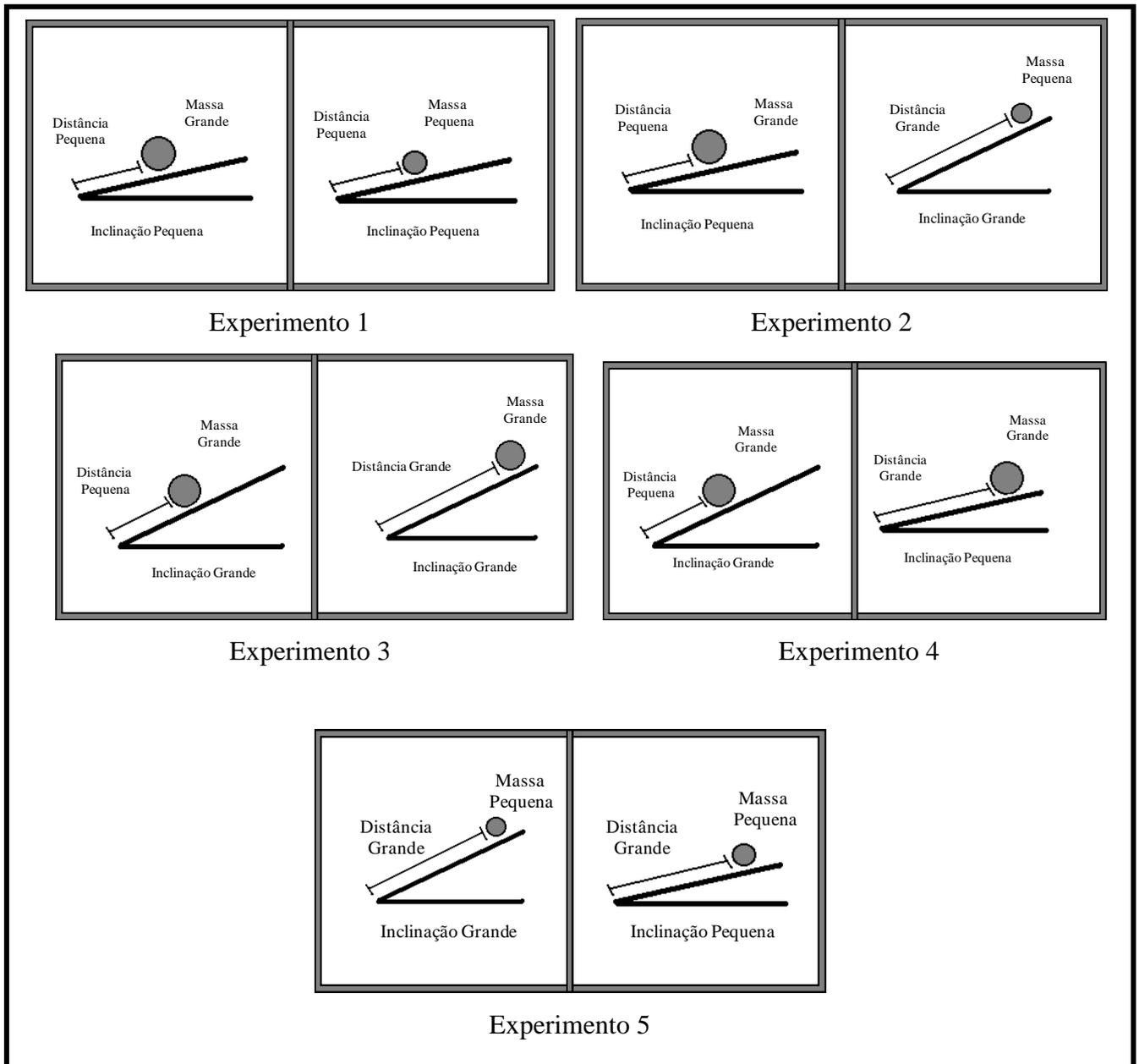
Tema	Problema	Número de variáveis	Variáveis	Níveis das variáveis
Plano inclinado	Determinar o efeito da distância de que a esfera é solta sobre o tempo que ela gasta para percorrer a rampa	Três	Inclinação da rampa Distância^a Massa da esfera	Grande ou pequena Grande ou pequena Grande ou pequena

^a Variável em foco ou relevante

De acordo com o quadro 5.4 podemos ver que o problema possuía três variáveis independentes e categóricas que assumiam apenas dois valores. A linguagem utilizada para descrever o problema e as variáveis foi propositadamente coloquial. O problema utilizava comparações experimentais de quatro tipos diferentes:

- Experimento adequado e consistente (Experimento 3): aquele cuja variável em foco, relevante para a solução do problema proposto e cujo efeito se deseja determinar, assume valores diferentes, enquanto que as demais são mantidas constantes, sendo, portanto, o experimento correto para demonstrar o efeito da variável em foco em cada problema.

Figura 5.2 – Representação dos esquemas experimentais utilizados



- Experimento inconsistente em uma variável (Experimento 4): aquele em que além da variável relevante, uma segunda variável, irrelevante para a questão apresentada, também varia. Apenas um fator é mantido constante nesse experimento. Assim, esse experimento é inadequado para determinar o efeito da variável relevante.

- Experimento inconsistente em todas as variáveis (Experimento 2): aquele em que a variável relevante assume valores diferentes, juntamente com as demais variáveis. Este experimento é, então, inadequado para determinar o efeito da variável relevante.

- Experimento consistente, mas irrelevante (Experimento 1 e 5): aquele em que uma outra variável independente, mas irrelevante para o problema, assume valores diferentes, enquanto que a variável relevante é mantida constante. Este experimento, apesar de ser correto quanto ao controle de variáveis, é inadequado para determinar a influência da distância (variável relevante) sobre o tempo. Para o problema, foram utilizados dois experimentos desse tipo. Em um deles, a variável independente que é modificada é causal (inclinação), ou seja, tem influência sobre a variável independente. No outro experimento, a variável independente alterada (massa) é não causal.

Essa etapa teve como principal objetivo verificar em que medida os estudantes identificam testes adequados e consistentes e, além disso, reconhecem a importância desses testes na resolução de problemas práticos, levando em consideração os objetivos propostos. Um instrumento semelhante já foi aplicado em pesquisas anteriores (Borges e Gomes, 2005; Gomes, 2005) e mostrou-se bastante eficiente para levantar as dificuldades dos estudantes em reconhecer e justificar a importância de um teste adequado e consistente.

Para obtermos mais informações sobre as habilidades dos estudantes em controlar variáveis, utilizamos uma questão, dividida em dois itens, que foi originalmente desenvolvida por Wollman (1977a, 1977b). A questão (figura 5.3) é apresentada em ordem decrescente de dificuldade e visa determinar se os estudantes sabem identificar procedimentos experimentais que levam em conta o controle de variáveis. Ela foi escolhida por já ter sido utilizada em pesquisas anteriores e por abordar o mesmo domínio teórico do primeiro teste e também, para que pudéssemos triangular o desempenho dos estudantes nessa questão com os resultados obtidos com o teste de reconhecimento de testes adequados e consistentes.

A questão consiste de um experimento fictício no qual havia duas esferas de massas diferentes que podem ser soltas, uma por vez, de duas alturas diferentes. Após serem soltas, cada esfera desce a rampa de madeira e colide com uma esfera alvo. A esfera alvo percorre, então, certa distância até parar. O objetivo do experimento era determinar se a altura de que soltamos as esferas tem influência na distância percorrida pela esfera alvo após a colisão. No **item (i)** da questão eram apresentados, na forma de múltipla escolha, quatro opções de procedimentos e os estudantes deveriam escolher aquele que julgassem mais adequado ao problema e apresentar uma justificativa para a escolha.

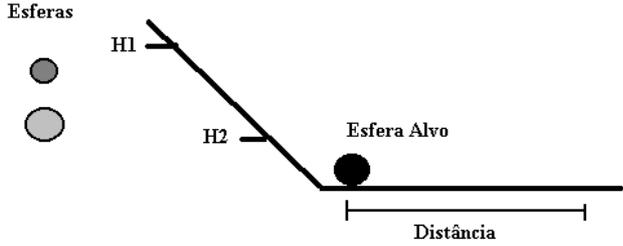
No **item (ii)**, foi dito aos estudantes que alguém havia solto a esfera de massa menor de uma dada posição. Então, perguntava-se o que o estudante faria em seguida, para determinar se a altura influencia na distância percorrida pela esfera alvo. Novamente, eram

apresentados quatro procedimentos e os estudantes deveriam escolher aquele que julgassem mais adequado ao problema e apresentar uma justificativa.

Figura 5.3 – Questão sobre testes adequados e consistentes

Questão 2 – Questionário CE-1

As questões abaixo referem a um experimento real ilustrado na figura abaixo. Nesse experimento, há duas esferas de massas diferentes que podem ser soltas, uma por vez, de duas alturas diferentes (H1 ou H2). Após serem soltas, as esferas descem a rampa de madeira e colidem com uma esfera alvo. A esfera alvo percorre, então, uma distância até parar.



i) Suponha que você deseja determinar se a altura que soltamos as esferas tem influência na distância percorrida pela esfera alvo após a colisão. Qual dos procedimentos abaixo você julga mais adequado para determinar se a altura influencia na distância percorrida pela esfera alvo? Justifique sua resposta.

- Soltar da altura H1 a esfera de menor massa e de H2, a esfera de maior massa.
- Soltar da altura H1 a esfera de maior massa e de H2, a esfera de menor massa.
- Soltar da altura H1 a esfera de maior massa e de H2, também a esfera de maior massa.
- Soltar da altura H1 a esfera de menor massa e também de H1, a esfera de maior massa.

ii) Suponha que alguém solte a esfera de massa menor da posição H1. O que você faria em seguida, para determinar se a altura influencia na distância percorrida pela esfera alvo? Justifique sua resposta.

- soltaria de H1 a esfera de massa maior.
- soltaria de H1 a esfera de massa menor.
- soltaria de H2 a esfera de massa maior.
- soltaria de H2 a esfera de massa menor.

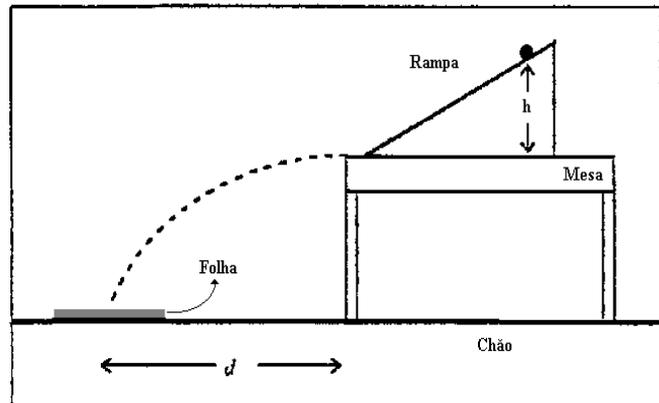
5.3.2.1.2 Conceito de evidência: tamanho da amostra

Um fator importante durante a realização de uma atividade experimental é decidir sobre a quantidade de dados que devem ser coletados e o que será feito com o conjunto de dados. Além do tamanho da amostra, alguns conhecimentos fundamentais são reflexos das escolhas dos estudantes sobre o tamanho da amostra: a noção de irreprodutibilidade dos fenômenos físicos e a consciência dos erros durante a experimentação. Para avaliarmos esses conhecimentos, utilizamos uma questão (figura 5.4) que tem como contexto um domínio bastante semelhante ao domínio até aqui explorado.

Figura 5.4 – Questão sobre o tamanho da amostra, reprodutibilidade e confiabilidade

Questão 3 do Questionário CE - 1

As questões abaixo se referem ao experimento ilustrado na figura ao lado, realizado por grupos de estudantes durante uma aula no laboratório de Física. Uma rampa de madeira é colocada na extremidade de uma mesa. Pode-se soltar uma pequena esfera de uma altura h (com relação a mesa). A esfera percorre toda a rampa e alcança o chão a uma distância d da borda da mesa. Um papel especial é colocado no chão, sobre o qual a esfera, ao cair, deixa uma pequena marca para que os estudantes possam localizar onde a esfera caiu. Os estudantes estão investigando como a distância d varia em função da altura h . Uma fita métrica é utilizada para as medições.



i) Um grupo de três alunos discute sobre as estratégias para coletarem os dados para alcançar o objetivo proposto. Eles decidem que coletarão os dados para cinco alturas h diferentes (10, 15, 20, 25, 30 cm). Porém, discordam sobre as medições da distância d para cada altura. Abaixo, estão as opiniões dos alunos. Qual é a opinião que você considera mais adequada? Justifique sua resposta.

Estudante 1 – Soltaremos a esfera de cada uma das alturas h e mediremos a distância alcançada por ela apenas uma vez. Uma medida da distância para cada altura basta.

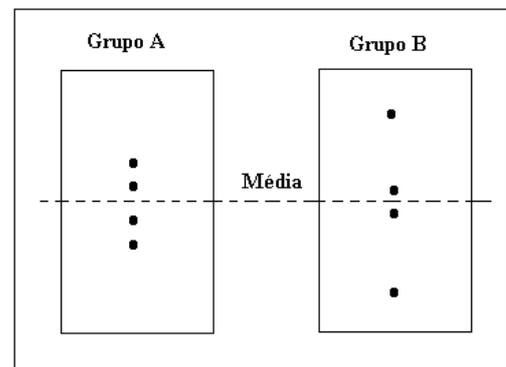
Estudante 2 – Faremos duas medidas da distância alcançada pela esfera para cada altura.

Estudante 3 – Faremos pelo menos 5 medidas da distância alcançada pela esfera para cada altura.

ii) Um outro grupo de alunos começa a atividade e solta a esfera de uma altura h de 20 cm. Eles medem a distância d alcançada pela esfera ao atingir o chão e obtêm o valor de 67,4 cm. Eles resolvem realizar nova coleta de dados com a mesma altura. Qual o valor que você espera que eles obtenham? Justifique sua resposta.

iii) Ao repetir a coleta de dados, com o mesmo valor de 20 cm para a altura h , o mesmo grupo de estudantes obteve um valor de 66,8 cm. Comente sobre o resultado obtido pelo grupo de estudantes.

iv) Dois grupos A e B realizaram, cada um, quatro coletas de dados para a altura h igual a 25 cm. Os grupos resolveram comparar as marcas deixadas nas folhas nas quais a esfera caía. Abaixo estão representadas as folhas de cada grupo e as marcas deixadas pela esfera. Sobre esse resultado, os estudantes fizeram três comentários. Com qual comentário você concorda? Justifique sua resposta.



Comentário 1 – Os resultados dos dois grupos são semelhantes, pois ao calcular a média, obtém-se o mesmo valor.

Comentário 2 – Os resultados do grupo A são melhores, pois as marcas são menos espaçadas e mais próximas umas das outras.

Comentário 3 – Algum grupo de ter se enganado e cometido algum erro durante a coleta de dados. Para uma mesma altura, não se pode obter dados tão distintos.

A questão, subdividida em quatro itens (i), (ii), (iii) e (iv), aborda uma atividade fictícia realizada por grupos de estudantes durante uma aula no laboratório de Física. No **item (i)**, um

grupo de três alunos discute sobre as estratégias para coletar os dados para alcançar o objetivo proposto. Eles decidem que coletarão os dados para cinco alturas h diferentes (10, 15, 20, 25, 30 cm). Porém, discordam sobre as medições da distância d para cada altura. É apresentado um comentário de cada estudante do grupo. Eles divergiam, principalmente, sobre a quantidade de medidas a serem realizadas para cada altura h . O aluno deveria, então, escolher aquela que considerasse mais adequada e apresentar uma justificativa.

5.3.2.1.3 Conceito de evidência: reprodutibilidade dos dados

No **item (ii)** da mesma questão (figura 5.4), diz que um grupo de alunos começa a atividade e solta a esfera de uma altura $h = 20$ cm. Eles medem a distância d alcançada pela esfera ao atingir o chão e obtêm o valor de 67,4 cm. O grupo de alunos resolve realizar nova coleta de dados com a mesma altura. Então, pergunta qual o valor que o estudante espera que o grupo obtenha. Também é solicitado para que o estudante forneça uma justificativa para a resposta.

Nesse item, exploramos ainda mais a noção de erros de medida. Espera-se que os estudantes que acreditam que não há variação de um experimento para outro e que possíveis erros não possam acontecer respondam que o grupo de estudantes irá obter o mesmo resultado. Já aqueles que esperam por uma variabilidade natural ou acidental nos resultados experimentais tenderiam a responder que o próximo valor seria apenas parecido com o primeiro valor obtido.

O **item (iii)** dizia que, ao repetir a coleta de dados, com o mesmo valor de 20 cm para a altura h , o mesmo grupo de estudantes obteve um valor de 66,8 cm. Era solicitado então, que o estudante comentasse sobre o resultado obtido pelo grupo de estudantes. Assim, desejávamos saber se o estudante encarava o segundo resultado com naturalidade, conseguindo atribuir alguma causa ou motivo para a variação apresentada. Outra reação possível seria negar o valor obtido, argumentando que houve algum equívoco ou erro de procedimento, pois os valores deveria ser os mesmos.

A compreensão da importância da determinação do valor médio de um conjunto de dados também se relaciona com o conceito de variabilidade. Um estudante que não prevê a variabilidade dos dados não reconhece a importância, nem o sentido da média como o valor mais representativo de um conjunto de dados. Ao contrário, ele prefere escolher o valor que mais se repete dentro do conjunto (moda), pois acredita que os valores que diferem da moda estariam, supostamente, errados.

Para identificarmos se os estudantes reconhecem a importância do cálculo da média, utilizamos uma questão na qual são apresentados os dados em uma tabela de uma suposta atividade no laboratório de Física realizada por um grupo de alunos que mediu o tempo que uma esfera gasta para percorrer uma rampa (figura 5.5). Em seguida, era solicitado que o aluno escrevesse qual o valor que melhor representa o tempo que a esfera gasta para percorrer a rampa e apresente uma justificativa.

Figura 5.5 – Questão sobre o valor mais representativo de um conjunto de dados

Questão 1 – Questionário CE-1							
Durante a realização de uma atividade no laboratório de Física, um grupo de alunos mediu o tempo que uma esfera gasta para percorrer uma rampa. Todas as medidas foram realizadas com a mesma esfera e soltando-a de uma mesma altura. Os valores estão representados na tabela abaixo:							
Tempo (s)	1,5	1,3	1,5	1,2	1,7	1,5	1,1
De acordo com os dados na tabela, escreva qual o valor que melhor representa o tempo que a esfera gasta para percorrer a rampa. Justifique sua resposta.							

5.3.2.1.4 Conceito de evidência: validade e confiabilidade

Como vimos, as idéias sobre a validade e confiabilidade das evidências experimentais são fundamentais para uma compreensão da atividade prática como um todo, pois elas permitem ao experimentador julgar a qualidade das evidências e o conjunto dos dados obtidos. Portanto, elas também terão um papel decisivo sobre a qualidade das inferências e conclusões obtidas a partir dos dados experimentais.

Para explorarmos os conceitos de validade e confiabilidade, utilizamos uma questão que narra a estória de dois grupos que, durante uma aula de laboratório, mediram o tempo que uma esfera gasta para percorrer uma rampa (figura 5.6). Esse tema foi escolhido por ser similar aos temas de outras questões e instrumentos já descritos. Os grupos A e B realizaram seis medidas de tempo cada um e estes dados são apresentados numa tabela, com sua respectiva média ao lado. Os dois conjuntos apresentam a mesma média, porém, a dispersão dos dados de um dos grupos é maior do que o do outro.

Em seguida, são feitos três comentários. Os alunos são orientados a escolher qual comentário eles julgam mais apropriado e a fornecer uma justificativa para a escolha. Versões modificadas dessa questão podem ser encontradas em outras pesquisas (Allie e colaboradores, 1998; Leach e colaboradores, 2000; Lubben e colaboradores, 2001; Seré e colaboradores, 2001; Leach, 2002). Nosso objetivo nessa questão é analisar se os estudantes percebem a

diferença quanto à dispersão dos dados, ou seja, se os estudantes reconhecem que a dispersão dos dados também é um indicador da qualidade dos dados coletados, pois, quanto maior a dispersão, maior o desvio absoluto médio ou padrão do conjunto de dados, diminuindo-se assim, a precisão da medida.

Para podermos analisar melhor a visão dos estudantes sobre a variabilidade dos dados, sua dispersão, e a conseqüente validade e confiabilidade dos dados, abordamos essa questão de forma diferente da questão acima.

O **item (iv)** da questão 3 do Questionário **CE – 1** (figura 5.4) diz que dois grupos realizaram, cada um, quatro coletas de dados para a altura h igual a 25 cm. Os grupos resolveram comparar as marcas deixadas nas folhas nas quais a esfera caia. Na figura, constava que as médias dos dois grupos eram iguais, porém um grupo apresentava valores muito espaçados entre eles. Foram feitos três comentários e os estudantes deveriam escolher aquele que julgassem mais adequado.

Se repararmos com cuidado, as duas questões abordam a relação entre a dispersão e a qualidade dos dados. Porém, na questão acima, os dados e a média são apresentados de forma numérica. Já no **item (iv)**, a representação é gráfica. Então, esperamos que a comparação das respostas dos estudantes nessas duas questões possa esclarecer melhor suas concepções sobre essa relação.

Figura 5.6 – Questão sobre a validade e confiabilidade dos dados

Questão 1 – Questionário CE-2

Durante a realização de uma atividade no laboratório de Física, dois grupos de alunos mediram o tempo que uma esfera gasta para percorrer uma rampa. Todas as medidas foram realizadas com esferas de mesma massa e soltando-as de uma mesma altura. Os valores estão representados na tabela abaixo:

Grupo A	Tempo (s)	2,1	2,9	2,5	2,5	2,9	2,1	(Média 2,5)
Grupo B	Tempo (s)	2,4	2,5	2,6	2,6	2,3	2,6	(Média 2,5)

Sobre os dados, podemos fazer os seguintes comentários:

Comentário 1 – Os dados do grupo A são melhores, pois eles obtiveram dois valores iguais a média.
Comentário 2 – Os dados do grupo B são melhores, pois as medidas estão todas entre 2,3 e 2,6 s, valores mais próximos da média.
Comentário 3 – Os dados do grupo A são tão bons quanto os dados do grupo B, pois ambos possuem a mesma média.

Qual dos comentários você concorda mais? **Justifique sua resposta.**

Elaboramos ainda outra questão, que também narra um episódio. Desta vez, um grupo de estudantes investiga a influência da massa sobre o período de oscilação do pêndulo (figura 5.7). O grupo realiza, tomando alguns cuidados experimentais, duas seqüências de

medidas e utiliza massas de 100 e 200 gramas. Os dados coletados pelo grupo são apresentados numa tabela onde constam as medidas e as médias de cada conjunto. As médias obtidas para as duas massas variavam pouco (0,76 e 0,74s, respectivamente). Em seguida eram fornecidos aos estudantes dois comentários.

Essa questão era dividida em dois itens. No **item (i)**, os estudantes deveriam avaliar qual comentário era mais pertinente e fornecer uma justificativa para a escolha. Os comentários divergiam sobre a conclusão da suposta influência da massa sobre o período do pêndulo.

Desejamos identificar se os estudantes conseguem perceber que, apesar das médias serem diferentes, elas são quase iguais e, além disso, várias medidas para as duas massas, se sobrepõem, o que significa que as médias não possuem diferenças significativas. Isso indica que a massa não influencia no período de oscilação do pêndulo. Desejamos saber também, se os estudantes escolheram os comentários a partir da análise dos dados da tabela ou dão grande importância à variação mínima entre o valor médio de cada conjunto.

Figura 5.7 – Questão sobre a validade e confiabilidade dos dados

Questão 2 – Questionário CE-2

Durante a realização de outra atividade experimental, um grupo de estudantes investiga a influência da massa do pêndulo sobre o seu período. Para tanto, realizam duas seqüências de medidas, utilizando massas de 100g e 200g e tomando alguns cuidados experimentais. Os dados obtidos estão representados na tabela abaixo.

Massa 200g	Período (s)	0,72	0,74	0,76	0,77	0,71	(Média 0,74)
Massa 100g	Período (s)	0,73	0,78	0,77	0,75	0,77	(Média 0,76)

Sobre os dados, podemos fazer os seguintes comentários:

Comentário 1 – O período do pêndulo depende da massa, pois os valores obtidos para as médias são diferentes.

Comentário 2 – O período do pêndulo não depende das massas, pois as médias foram semelhantes.

(i) Qual dos comentários você concorda mais? **Justifique sua resposta.**

(ii) O enunciado da questão diz respeito a cuidados experimentais. Você seria capaz de dizer quais cuidados experimentais o grupo de aluno adotou para coletar os dados? Explique seu raciocínio.

No **item (ii)** desejamos saber o quê os alunos sabem sobre os ‘cuidados experimentais’. Portanto, queremos saber se os estudantes são capazes de dizer quais cuidados experimentais o grupo de alunos adotou para coletar os dados. A consciência da necessidade de alguns cuidados experimentais é fundamental para a determinação da qualidade dos dados obtidos.

Esperamos que as respostas concentrem-se sobre os cuidados para se efetuar as medidas, a utilização de instrumentos precisos e sobre o controle de alguma variável importante para o problema. Desejamos saber também, quais desses cuidados são lembrados ou em quais os alunos depositam maior importância.

5.3.2.1.5 Conceito de evidência: gráficos e tabelas

Desejamos identificar o que os estudantes já sabem sobre representações gráficas e o que eles aprenderam ao longo do ano. Para isso, elaboramos duas questões que abordam a construção e interpretação de gráficos, que foram apresentadas em ordem decrescente de dificuldade para os alunos.

Na primeira questão (figura 5.8), mais difícil, estavam disponíveis os dados da distância percorrida em função do tempo de um móvel, coletados durante uma suposta atividade experimental de um grupo de estudantes. No **item (i)** era solicitado aos estudantes que construam, no espaço apropriado, o gráfico correspondente aos dados tabelados.

Figura 5.8 – Questão sobre construção e interpretação gráfica

Questão 4 – Questionário CE-1

Durante a realização de uma atividade experimental, um grupo de estudantes coleta dados sobre a distância percorrida por um móvel em função do tempo. Os valores estão disponíveis na tabela abaixo.

Tempo (s)	0	2	4	6	8
Distância (cm)	0	5	12	19	23

i) No espaço apropriado, construa o gráfico que melhor represente os dados acima.
ii) Para o tempo igual a 5 segundos, estime o valor da distância percorrida pelo móvel.
iii) Para um tempo igual a 10 segundos, estime o valor da distância percorrida pelo móvel.

Nos **itens (ii)** e **(iii)** era solicitado que os estudantes determinassem a distância percorrida para um determinado tempo. Nos dois casos, o tempo pedido não constava na tabela. Portanto, para responder a questão o estudante deveria fazer uma interpolação e uma extrapolação, respectivamente.

A outra questão (figura 5.9) apresenta um gráfico de força aplicada x distensão da mola no qual estão representados apenas os pontos obtidos por um grupo de estudantes durante uma atividade experimental.

No **item (i)** é pedido aos estudantes que tracem a reta que melhor se ajusta aos pontos do gráfico. Com essa questão desejamos saber se os estudantes, ao traçarem a reta, o farão

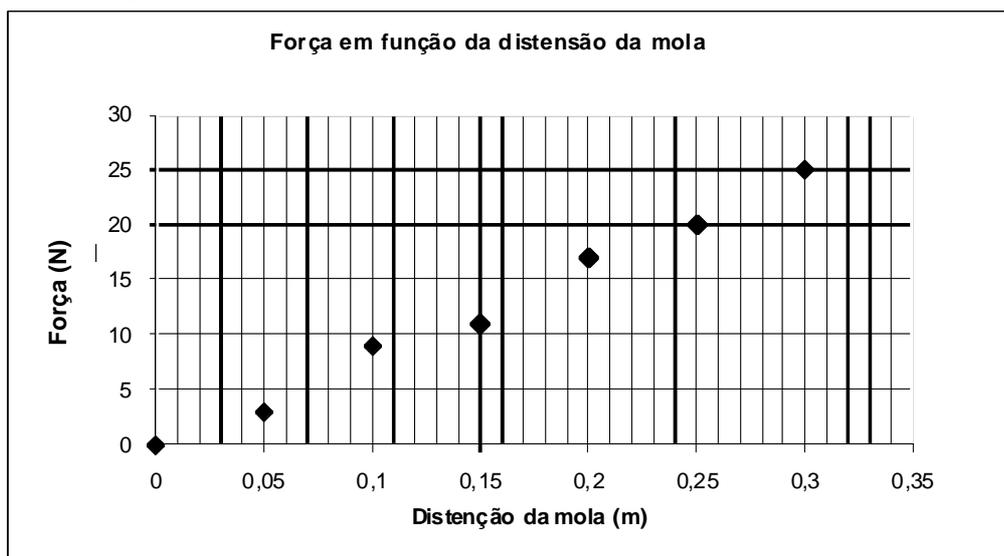
ligando os pontos um a um ou traçarão apenas uma reta, aquela que melhor se ajusta entre os pontos dados.

No **item (ii)** foi solicitado aos estudantes que calculassem a constante elástica da mola, que num gráfico de força aplicada x distensão pode ser obtida através da inclinação do gráfico. Também foi fornecida aos estudantes a equação $F = k.X$, que relaciona a força aplicada e a distensão sofrida pela mola. Com essa questão, desejávamos saber se os estudantes calculariam a constante elástica da mola utilizando a inclinação da reta do gráfico ou se aplicariam a fórmula a um determinado ponto.

Figura 5.9 – Questão sobre construção e interpretação gráfica

Questão 3 – Questionário CE-2

Durante outra atividade de laboratório, um grupo de estudantes investiga a relação entre a força aplicada numa mola e a distensão sofrida por ela. Os estudantes coletaram cuidadosamente os dados e os representaram no gráfico abaixo:



i) Trace, no próprio gráfico, a reta que melhor se enquadra nos pontos acima.

ii) Sabe-se que a relação matemática entre a força aplicada numa mola e a distensão provocada é dada pela equação $F = k.X$, onde F representa a força aplicada, X , a distensão da mola e k , a constante elástica da mola. Para os dados acima, estime o valor da constante elástica da mola.

5.3.2.1.6 Caderno de relatórios

Quando começaram a freqüentar o laboratório de física, os estudantes foram orientados a utilizar um caderno específico para as atividades, no qual eles anotariam as informações sobre as atividades que julgassem necessárias e escreveriam os relatórios das mesmas.

Ao escrever um relatório, espera-se que o estudante descreva o problema que busca resolver, os procedimentos utilizados, as observações feitas, as medições realizadas, os resultados obtidos, suas conclusões e reflexões sobre o problema.

Em ciências, há um acordo geral de que o caderno de relatórios permite aos professores avaliar a compreensão dos estudantes e dar a eles um *feedback* sobre o que precisam melhorar. Mas para Ruiz-Primo e colaboradores (2004), o caderno de relatórios pode ser utilizado como instrumento de pesquisa, uma vez que este se configura como um produto final da atividade realizada no laboratório.

Outros autores também ressaltam a importância dos relatórios tanto para o ensino, quanto para a pesquisa em ciências (Keys, 1999; Keys e colaboradores, 1999). Segundo eles, o ato de escrever e refletir sobre a atividade realizada permite ao estudante integrar conceitos e construir conhecimentos. Sendo assim, ao final do ano letivo, sem aviso prévio, solicitamos aos alunos que entregassem o caderno para que pudéssemos fazer as análises necessárias. A decisão de entregar ou não o caderno de relatórios ficou a cargo de cada aluno. Recolhemos cerca de 30 cadernos.

5.3.2.1.7 Atividade investigativa

As pesquisas descritas no capítulo 3 que investigam o domínio dos conceitos de evidência pelos estudantes preocupam-se, em sua grande maioria, em identificar, de forma isolada, a compreensão dos estudantes sobre os diversos conceitos de evidência. Porém, a compreensão isolada de diversos componentes que caracterizam o processo de experimentação e dos conceitos de evidência não garante, necessariamente, a aquisição de uma compressão do processo como um todo.

Acreditamos, assim como Hodson (1996), que pesquisas sobre aspectos fundamentais do processo de experimentação não podem ser realizadas de forma descontextualizadas e sim, incorporadas a situações de investigações genuínas. Utilizamos, portanto, uma atividade investigativa, implementada através de uma simulação computacional para avaliarmos o domínio das diversas habilidades e conceitos de evidência dos alunos durante a realização de uma atividade inteira, na qual os estudantes possuíam toda a liberdade para executá-la da forma como desejassem.

As características da investigação utilizada obedecem ao paradigma atual das pesquisas na área da cognição e do desenvolvimento do pensamento científico (Penner e

Klahr, 1996; Schauble, 1996, Chen e Klahr, 1999; Klahr, 2000) e se fundamentam na identificação com a atividade científica real.

Dessa forma, assim como em outras pesquisas (Klahr, Fay e Dunbar, 1993; Penner e Klahr, 1996), planejamos uma atividade que estimulasse nos estudantes a coordenação da busca tanto no espaço dos experimentos quanto no espaço das hipóteses, assim como a avaliação das evidências produzidas durante a experimentação.

Ao contrário de outras pesquisas nas quais desenvolvemos programas de simulações específicos (Gomes, 2005; Gomes, Borges e Justi, 2005) optou-se por trabalhar com um applet disponível na internet⁶. Optamos por esse tipo de instrumento de pesquisa como forma de demonstrar a utilização dessa ferramenta para a pesquisa em educação e também sua utilização para fins didáticos, para a implementação de atividades investigativas. O applet está escrito originalmente em inglês. Quando a atividade foi aplicada, os termos foram traduzidos oralmente e escritos no quadro as respectivas traduções dos termos e comandos oferecidos pelo applet. Nenhum estudante demonstrou dificuldade específica com os termos utilizados em inglês.

A preferência por simulações aos experimentos didáticos comumente utilizados se deu pela maior rapidez e facilidade em coletar os dados. A realização de uma atividade experimental com equipamentos demandaria a análise de uma quantidade enorme de material e um tempo excessivo para coletar os dados, o que inviabilizaria a conclusão da investigação dentro do tempo disponível para os alunos.

5.3.2.2 – Instrumentos para avaliação das concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência

Na seção 5.2 apresentamos os objetivos propostos pelos coordenadores de física da escola onde aconteceu a coleta de dados. Não há menções, entre os objetivos apresentados, especialmente para o primeiro ano do ensino médio, sobre o desenvolvimento de concepções mais sofisticadas sobre a natureza da ciência por parte dos estudantes.

Porém, diversos pesquisadores (Welch e colaboradores, 1981; Gallagher, 1991; Roth, 1995) indicam que as concepções ingênuas e incorretas dos estudantes, podem ser atribuídas,

⁶ http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/ProjectileMotion/jarapplet.html

ao menos em parte, à pouca exposição dos estudantes a ambientes construtivistas, baseados em atividades mais abertas, de natureza investigativa.

Portanto, pesquisadores (Hodson, 1988; Osborne, 1998; Borges, 2002; Elder, 2002) passaram a defender que a realização de atividades práticas abertas e investigações podem contribuir para que os estudantes desenvolvam uma visão mais realista e sofisticada do trabalho dos cientistas e da própria natureza da ciência e do conhecimento científico. Portanto, investigamos também neste trabalho as possíveis modificações nas concepções e idéias dos estudantes sobre aspectos da natureza da ciência ao longo do ano letivo.

As pesquisas sobre as concepções de estudantes e professores sobre a natureza da ciência iniciaram-se ainda na década de 60. Em duas grandes revisões sobre os trabalhos publicados na área, Lederman, Wade e Bell (1998a;1998b) criticam grande parte dos instrumentos e das metodologias utilizadas nos trabalhos. Segundo os autores, grande parte dos instrumentos utilizados aborda apenas alguns aspectos da natureza da ciência e, confundem ou misturam, inapropriadamente, outros temas ou assuntos de áreas periféricas à natureza da ciência. Com algumas exceções, as pesquisas na área ou os instrumentos desenvolvidos apresentavam falhas como:

- uma grande proporção dos instrumentos utilizados nas pesquisas concentravam-se nas habilidades dos estudantes em se engajar nos processos da ciência (analisar dados, fazer inferências etc);
- houve uma ênfase excessiva no domínio afetivo ou nas atitudes dos estudantes em relação ao ensino de ciências;
- houve uma ênfase excessiva para a compreensão da ‘ciência como uma instituição’, com pouca ou nenhuma ênfase sobre as características epistemológicas do desenvolvimento do conhecimento científico.

Como vimos no capítulo 4, até o final dos anos 80, os questionários quantitativos, com questões de múltipla escolha ou com afirmações para serem julgadas segundo uma escala do tipo Likert eram os instrumentos predominantes nas pesquisas da área. Vários instrumentos desenvolvidos apresentaram validade e fidedignidade aceitáveis e foram amplamente utilizados na pesquisa na área. Mas uma parte dos instrumentos desenvolvidos, por apresentarem as falhas acima descritas, teve sua validade questionada.

Alguns desses questionários chegavam a ter 93, 114 e até mesmo 135 questões! Esse número excessivo de questões tem dois motivos principais: (i) o instrumento abordava assuntos que iam além da natureza da ciência; (ii) para garantir uma consistência interna

satisfatória e a construção de escalas estatisticamente significativas, utilizava-se várias questões ou itens que abordavam o mesmo tópico ou característica.

Além disso, alguns instrumentos tiveram sua validade criticada, pois assumiam posições e interpretações bem particulares com relação à natureza da ciência e do conhecimento científico, não compartilhadas em unanimidade pela comunidade científica. Lucas (1975) dá exemplos de itens e questões que compõem os instrumentos mais conhecidos e difundidos desenvolvidos até então. Tais itens abordam aspectos da natureza da ciência não consensuais entre a comunidade científica e que dependem da interpretação ou da visão filosófica dos elaboradores dos instrumentos. Tais tendências e visões implícitas comprometem a validade e a fidedignidade dos instrumentos. Outro ponto é a presença de itens que envolvem detalhes muito específicos da produção do conhecimento científico e da ciência ou da vida pessoal e profissional do cientista, como a organização dos cientistas em sociedades, das chances de sucesso de um cientista ou a função da Sociedade Americana de Química, por exemplo, itens que pouco contribuem para a identificação das idéias dos respondentes sobre a natureza da ciência.

Porém, Lederman, Wade e Bell relativizam os problemas identificados em boa parte das pesquisas ao afirmarem que

“ tendo analisado as ênfases das pesquisas especificamente relacionadas com a natureza da ciência, ficamos com ao menos dois pontos são salientes: 1) os instrumentos de avaliação são interpretados de uma maneira tendenciosa, e 2) alguns instrumentos parecem que foram construídos de forma precária. Sem levar em conta essas críticas, é interessante observar que as conclusões das pesquisas baseadas nesses instrumentos têm sido incomumente semelhantes. Portanto, apesar dos vários instrumentos possuírem deficiências específicas, se estas fossem significativas, seria improvável que as conclusões das pesquisas fossem tão consistentes.” (Lederman, Wade e Bell, 1998, p. 344).

Alguns trabalhos, então, passaram a questionar a medida na qual as concepções dos indivíduos sobre a ciência e suas perspectivas epistemológicas complexas e multifacetadas poderiam ser identificadas através de instrumentos objetivos e questionários (Lederman e O'Malley, 1990; Kelly, Chen e Crawford, 1998). Essas pesquisas defendem a utilização de métodos mais interativos como entrevista. Porém, apesar das entrevistas aumentarem a probabilidade de se fazer inferências mais válidas sobre a visão da ciência dos participantes, elas são trabalhosas e consomem muito tempo para execução e análise. Além disso, os currículos de ciências vigentes na maioria dos países defendem a sofisticação das concepções

dos estudantes sobre a natureza da ciência e prevêm a ênfase em abordar alguns aspectos da natureza da ciência e do processo de construção do conhecimento científico. Sendo assim, é necessário avaliar tais concepções e, para isso, é fundamental o desenvolvimento de instrumentos válidos que possam ser aplicados em grande escala, o que inviabiliza, na prática, a utilização de entrevistas para tais fins.

Uma opção encontrada para sanar esse impasse foi o desenvolvimento de questionários abertos, nos quais os estudantes possuem maior liberdade para expor suas idéias e concepções. Southerland e colaboradores (2005) enfatizam a dificuldade da pesquisa na área e também defendem a utilização de vários instrumentos e metodologias.

Para essa pesquisa, desenvolvemos dois instrumentos para identificar as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico. Para esse desenvolvimento, estivemos atentos, principalmente, às críticas aos instrumentos anteriores. Limitamos-nos a identificar as concepções dos estudantes sobre os aspectos da natureza da ciência que gozam de um razoável acordo entre educadores e filósofos da ciência (quadro 4.1) e, também, privilegiamos os aspectos epistemológicos da construção do conhecimento científico.

Sandoval (2005) também sugere alguns aspectos epistemológicos que os estudantes devem saber para poder realizar uma investigação genuína e para compreender a importância e a pertinência de suas ações e raciocínio durante a atividade. De forma sucinta, os aspectos propostos por Sandoval são:

- os estudantes devem saber que o conhecimento científico é construído por pessoas e não simplesmente descobertos. Sendo assim, a ciência também exige dos cientistas boa parcela de imaginação e criatividade. Além disso, o conhecimento é socialmente construído, implicando em cooperação, colaboração e competição entre cientistas;
- há uma diversidade de métodos empregados pelos cientistas que variam de acordo com a natureza do problema investigado e da área. É importante que os estudantes reconheçam a relação entre a questão proposta, os métodos e procedimentos realizados, os dados e evidências produzidos e as conclusões que podem ser obtidas em cada atividade;
- o conhecimento científico varia quanto a sua certeza. Todo conhecimento que temos hoje foi construído a partir do já sabíamos sobre os fenômenos. Este conhecimento é passível de mudanças, correções e aperfeiçoamento frente a novas evidências.

As idéias acima e as presentes no quadro 4.1 nortearam a criação e desenvolvimento dos instrumentos para avaliação das concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência que serão descritos nas próximas seções.

5.3.2.2.1 – Questionário fechado sobre a natureza da ciência

A utilização de questionários com itens a ser avaliados segundo uma escala Likert de três, cinco e até sete posições é uma metodologia comum e difundida na pesquisa em ensino de ciências e vem sendo utilizada, há vários anos, nas pesquisas sobre a natureza da ciência e também em trabalhos em áreas como a epistemologia pessoal (Wood e Kardash, 2002; Schraw, Bendixen e Dunkle, 2002) e interesse, motivação e percepção de ambientes de aprendizagem (Fraser e colaboradores, 1993; 1995).

A escala Likert é composta por uma série de afirmações relacionadas com o objeto pesquisado, isto é, afirmações que representam várias assertivas sobre um assunto. Porém, ao contrário de outras escalas, os respondentes não apenas respondem se concordam ou não com as afirmações, mas também informam qual seu grau de concordância ou discordância, pois é atribuído um número a cada resposta, que reflete a direção da atitude do respondente em relação a cada afirmação. A somatória das pontuações obtidas para cada afirmação é dada pela pontuação total da atitude de cada respondente. A escala Likert é uma escala bastante utilizada porque além de ser confiável, é de aplicação simples e rápida, permitindo obter informações sobre o nível de compreensão dos respondentes além de dar mais liberdade à eles, que não precisam se restringir ao simples concordo/ discordo. A escala Likert assume a existência de uma variável contínua (latente ou natural) cujo valor caracteriza as opiniões e crenças dos respondentes. Cada item que compõe o questionário, portanto, fornece uma aproximação discreta dessa variável latente.

Desenvolvemos um questionário com 39 itens que deveriam ser avaliados segundo uma escala do tipo Likert de cinco posições (concordo totalmente, concordo parcialmente, não concordo e nem discordo, discordo parcialmente e discordo totalmente). Parte dos itens foi criada tendo em vista os objetivos da pesquisa e outros foram adaptados de pesquisas anteriores (Rubba e Andersen, 1978; Pomeroy, 1993; Haidar, 1999; Leach e colaboradores, 2000). O quadro 5.5 apresenta os itens, na ordem como foram apresentados aos estudantes.

Podemos ver, pelos 39 itens do quadro 5.5 que nosso objetivo com esse questionário era identificar as concepções dos estudantes sobre o que Hogan (2000) chama de conhecimento distal sobre a natureza da ciência ou o que Sandoval (2005) denomina de

epistemologia formal, ou seja, as concepções dos estudantes sobre os protocolos, práticas e produtos da atividade dos cientistas e da comunidade científica e também sobre a produção e características do conhecimento científico.

Quadro 5.5 – Questionário fechado sobre a natureza da ciência

1. A Ciência pode provar qualquer coisa, resolver qualquer problema, ou responder a qualquer pergunta.
2. O planejamento de um experimento depende da teoria sobre o objeto que está sendo investigado.
3. A Ciência preocupa-se principalmente com a compreensão do funcionamento do mundo natural.
4. O ato de fazer Ciência requer criatividade e intuição.
5. Um experimento é planejado para ver o que acontece e, portanto, não depende da teoria sobre o objeto que está sendo investigado.
6. A Ciência fornece respostas temporárias para as perguntas.
7. Um mesmo conjunto de dados sempre leva a uma única conclusão.
8. Os cientistas podem acreditar em Deus e ainda sim serem bons cientistas.
9. O trabalho científico se resume em coletar fatos sobre os fenômenos naturais.
10. O conhecimento científico é estático e não está sujeito a mudanças.
11. Os cientistas tentam, muitas vezes, provar que determinadas idéias estão erradas.
12. A Ciência é influenciada pela raça, gênero, nacionalidade ou religião dos cientistas.
13. Diferentes cientistas podem chegar a diferentes conclusões sobre o mesmo problema.
14. O desacordo entre os cientistas é uma das fraquezas da Ciência.
15. Qualquer estudo feito cuidadosamente e baseado em observações é considerado científico.
16. Os cientistas interpretam os dados obtidos através de uma experiência sem serem influenciados por suas expectativas e concepções.
17. O trabalho científico se limita a seguir rigorosamente passos e processos pré-estabelecidos.
18. Conclusões diferentes e legítimas podem ser obtidas a partir do mesmo conjunto de dados.
19. O aspecto mais importante do trabalho científico são as medições precisas e o trabalho cuidadoso.
20. O conhecimento científico se baseia somente em observações.
21. As leis e teorias científicas existem independentemente da existência humana. Os cientistas apenas as descobrem.
22. As idéias e teorias dos cientistas influenciam o planejamento da coleta de dados nos experimentos.
23. É apenas uma questão de tempo para que a Ciência atinja a verdade absoluta sobre o universo.
24. O trabalho dos cientistas é influenciado pela sua cultura e pelas instituições às quais eles são filiados.
25. A Ciência é a única visão de mundo correta que possuímos.
26. As expectativas e concepções dos cientistas influenciam nas suas interpretações dos dados obtidos através de uma experiência.
27. Novos conhecimentos científicos são construídos a partir de conhecimentos já adquiridos.
28. O conhecimento científico não emerge simplesmente dos dados experimentais. Os dados devem ser interpretados e analisados à luz de alguma teoria.
29. Não há apenas um método científico, mas sim, várias técnicas e métodos igualmente válidos.
30. As leis, teorias e conceitos da Física, Química e Biologia são relacionados.
31. Há diferentes tradições na Ciência sobre o que é investigado e como, mas todas compartilham pressupostos comuns como o valor das evidências, a lógica e a boa argumentação.
32. Os cientistas deixam suas idéias e teorias de lado quando planejam a coleta de dados nos experimentos.
33. As teorias hoje vigentes na Ciência podem conter erros ou imperfeições que serão corrigidos futuramente.
34. O principal objetivo de um experimento científico é testar uma hipótese, idéia ou teoria.
35. As leis e teorias científicas são criações humanas e envolvem imaginação e criatividade.
36. Os cientistas realizam experimentos para ver o que acontece. A partir dos experimentos eles constroem teorias e leis.
37. Todo conhecimento científico é obtido através da experimentação.
38. Na Ciência, não há erros ou imprecisões, todo conhecimento é exato.
39. A Ciência é uma construção coletiva, com os cientistas divulgando e discutindo seus resultados em revistas e congressos.

5.3.2.2.2 – Questionário aberto sobre a natureza da ciência

Para obtermos mais informações sobre as concepções dos estudantes sobre alguns aspectos natureza da ciência, utilizamos também um questionário aberto. Ele é composto de um conjunto de questões que abordam, diferentemente do questionário anterior, tanto aspectos sobre o conhecimento distal, quanto aspectos do conhecimento proximal da natureza da ciência. As questões utilizadas nesse questionário, em sua maioria, foram utilizadas em pesquisas anteriores (Carey e colaboradores, 1989; Smith e colaboradores 2000; Sandoval e Morrison 2003).

No quadro 5.6 estão os três grupos de perguntas utilizados. Com as perguntas do grupo 1, desejamos identificar as concepções dos estudantes sobre a ciência e seus objetivos. Esperamos que as perguntas do grupo 2 nos ajudem a identificar as concepções dos estudantes sobre o processo de experimentação e o seu papel no contexto da ciência. Já a pergunta do grupo 3, diz respeito às aulas de ciências e o objetivo das atividades de laboratório no contexto do ensino de ciências.

Quadro 5.6 – Questionário aberto sobre a natureza da ciência

<p>Grupo 1</p> <p>O que é Ciência para você?</p> <p>Quais seriam os objetivos da Ciência?</p> <p>Grupo 2</p> <p>O que você entende por um experimento científico?</p> <p>Como os cientistas decidem quais os experimentos eles farão?</p> <p>Quais seriam os objetivos dos cientistas ao realizar um experimento?</p> <p>Grupo 3</p> <p>Nas atividades de laboratório escolar, também realizamos experimentos. Qual seria o objetivo dos experimentos realizados durante as aulas de laboratório?</p>
--

Esperamos, com a utilização desses dois instrumentos, sermos capazes de identificar, da melhor forma possível, as concepções dos estudantes sobre os principais aspectos do conhecimento científico e da natureza da ciência.

5.3.3 Procedimentos

Nosso objetivo nesse trabalho é identificar as aprendizagens dos estudantes decorrentes da realização das atividades de laboratório ao longo do ano letivo. Portanto, como já mencionado, fez-se necessário a aplicação dos instrumentos de pesquisa no início do ano, para identificarmos os conhecimentos iniciais dos participantes e também, no final do ano, para que pudéssemos identificar as possíveis modificações nesses conhecimentos.

Tanto no início, quanto no final do ano, a coleta do material empírico da pesquisa ocorreu durante o horário das aulas de física dos estudantes (teóricas ou no laboratório) procurando interferir minimamente no andamento normal das mesmas.

Os diversos instrumentos de pesquisa foram aplicados em uma ordem determinada. As questões que abordavam os conceitos de evidência foram divididas em dois questionários, aqui denominados de Questionários Conceitos de Evidência (**CE-1** e **CE-2**). Os questionários aplicados aos estudantes estão nos anexos E e F.

No quadro 5.7 abaixo estão descritas várias informações sobre a aplicação dos instrumentos da pesquisa como a ordem de aplicação e quando foram aplicados. Como vemos, à exceção da atividade investigativa, que ocorreu apenas no meio do ano letivo, todos os outros instrumentos foram aplicados duas vezes, mantendo sempre a mesma ordem de aplicação.

Quadro 5.7 – Informações sobre a aplicação dos instrumentos da pesquisa

Instrumentos	Ordem	Aplicação
<u>Natureza da ciência</u>		
Questionário aberto	1º	No início e final do ano
Questionário fechado	4º	No início e final do ano
<u>Conceitos de evidência</u>		
Testes adequados e consistentes	2º	No início e final do ano
Questionário CE -1	3º	No início e final do ano
Questionário CE-2	5º	No início e final do ano
Atividade investigativa	---	No meio do ano letivo

Os instrumentos de pesquisa foram aplicados, em sua maioria, pelos próprios professores. Para cada instrumento foi desenvolvido uma folha de resposta adequada. Nessa folha, os estudantes deveriam colocar o nome, a turma, e a subturma do laboratório para posterior identificação. Os instrumentos foram aplicados em 2 aulas de 100 minutos. Na

primeira aula, foram aplicados os três primeiros e, na segunda, os dois últimos. A atividade investigativa foi aplicada em uma aula de 100 minutos

Antes da aplicação dos instrumentos, os professores novamente reforçavam a importância da participação dos estudantes e esclareciam os objetivos gerais da pesquisa. Os estudantes então recebiam o primeiro instrumento e respondiam. Apenas após a entrega de um instrumento, que lhes era fornecido outro. Os estudantes demoraram, em média, de 20 a 30 minutos para responder cada instrumento.

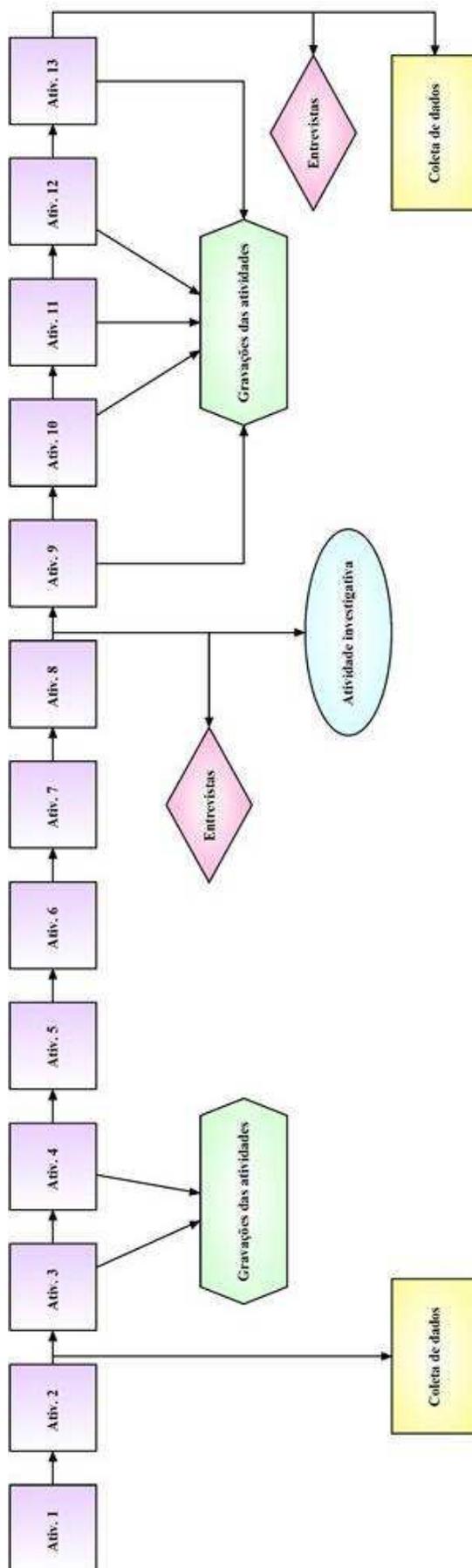
Na figura 5.10 representamos uma linha do tempo com as atividades desenvolvidas e os momentos nos quais as coletas de dados aconteceram. Além dos instrumentos de pesquisa, registramos em áudio e vídeo as atividades de alguns grupos de alunos no laboratório. A filmagem das atividades dependeu da compatibilidade entre a disponibilidade do pesquisador e o horário das aulas. Esperávamos obter indícios de aprendizagem e sofisticções na forma como os estudantes lidam e executam as atividades práticas, uma vez que foram registradas atividades no início e ao final do ano.

Também realizamos entrevistas individuais com 9 estudantes e com 7 grupos de alunos (grupos de 2 a 6 estudantes). Os alunos puderam decidir se preferiam ser entrevistados individualmente ou coletivamente. Durante as entrevistas, perguntávamos sobre as questões respondidas nos testes e sobre diversos aspectos do laboratório relacionados à pesquisa. Em três entrevistas em grupo, realizamos uma atividade com os alunos para contextualizar as questões discutidas. Utilizamos para isso, um lançador de projétil.

Através das entrevistas, buscamos obter suporte empírico para as inferências que faremos nos capítulos seguintes. Além disso, esperamos discutir melhor, as concepções dos estudantes sobre os diversos conceitos de evidência abordados e também suas concepções e idéias sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico.

As atividades de 1 a 8 aconteceram antes das férias de julho. As primeiras entrevistas e a atividade investigativa aconteceram após a oitava atividade. As atividades 9 a 13 aconteceram no segundo semestre de 2006 e em todas, pelo menos um grupo de alunos foi filmado durante as atividades. Ao final da 13ª atividade, foram feitas novas entrevistas e a última coleta de dados.

Figura 5.10 – As atividades desenvolvidas e os momentos de coleta de dados



6 ANÁLISE DOS DADOS I – CONCEITOS DE EVIDÊNCIA

Neste trabalho, como vimos, coletamos dados sobre os conhecimentos e as habilidades dos estudantes sobre diversos conceitos de evidência e suas concepções sobre a natureza da ciência. Para facilitar a análise dos dados e a compreensão do leitor, dividimos a análise do material empírico da pesquisa. Neste capítulo, analisamos os resultados para cada conceito de evidência abordado e os resultados da atividade investigativa realizada pelos estudantes.

A avaliação das habilidades relativas ao processo de investigação tem sido guiada por uma variedade de referenciais teóricos (Doran, Lawrenz e Helgeson, 1994). Um dos referenciais mais utilizados foi desenvolvido por Giddings, Hofstein e Lunetta (1991). Segundo esses autores, as ações dos estudantes durante as atividades práticas podem ser divididas em quatro fases da atividade: (1) *planejamento* (formulação das questões, previsão de resultados, formulação das hipóteses a serem testadas, planejamento dos procedimentos experimentais, decisão sobre as estratégias de experimentação); (2) *execução* (realização dos experimentos, manipulação dos materiais e equipamentos, registro dos dados); (3) *análise e interpretação* (processamento dos dados, construção de gráficos, obtenção e explicação das relações, desenvolvimento de generalizações, discussão da qualidade das evidências); (4) *aplicação* (fazer previsões sobre novas situações, formulação de novas hipóteses tendo em vista os resultados obtidos, aplicação das técnicas e conhecimentos adquiridos a outros problemas).

Dada a dificuldade em separar as ações em etapas claras e distintas, muitos autores preferem reunir a terceira e a quarta fase. Se fizermos isso, esse referencial coincide, de forma geral, com os três processos do modelo SDDS (capítulo 3) e, também, com as fases do processo de experimentação propostas por Gott e Duggan (1995). Portanto, ao analisarmos os resultados dos conceitos de evidência pesquisados, teremos uma boa visão sobre o desempenho dos estudantes durante as atividades práticas, uma vez que os conceitos de evidência abordados neste trabalho contemplam todas as fases do processo de investigação. Para tanto, foi necessário analisar as questões que compunham os questionários aplicados em ordem distinta daquela exibida aos alunos. O quadro 6.1 abaixo apresenta, de maneira organizada, a seqüência que utilizamos para analisar e apresentar os dados coletados.

Quadro 6.1 – Sequência de análise dos dados

Conceito de evidência	Instrumento	Questão/item	Seção
Testes adequados e consistentes	Teste de reconhecimento		6.1
	Questionário CE-1	Questão 2	
Tamanho da amostra	Questionário CE-1	Questão 3 – item (i)	6.2
Reprodutibilidade	Questionário CE-1	Questão 3 – item (ii) e (iii)	6.3
Validade e Confiabilidade	Questionário CE-1	Questão 1	6.4
	Questionário CE-2	Questão 2 – item (i)	
	Questionário CE-1	Questão 3 – item (iv)	
	Questionário CE-2	Questão 2 –item (ii)	
Gráficos e tabelas	Questionário CE-2	Questão 3	6.5
	Questionário CE-1	Questão 4	

6.1 Conceito de evidência: testes adequados e consistentes

Avaliamos esse conceito de evidência de duas formas. Inicialmente, avaliamos a capacidade dos estudantes em identificar testes adequados e consistentes e de reconhecer a sua importância para a obtenção de resultados experimentais confiáveis. Em seguida, analisamos a capacidade dos estudantes em planejar situações experimentais nas quais ocorrem um controle de variáveis efetivo.

6.1.1 Teste de reconhecimento de testes adequados e consistentes

Com o objetivos de avaliar a capacidade dos estudantes em identificar testes adequados e consistentes, utilizamos um sistema de categorização para classificar as respostas dos estudantes em cada uma das comparações experimentais do livreto. Tal sistema de categorização, composto por cinco categorias, foi desenvolvido e utilizado em trabalhos anteriores (Gomes e Borges, 2003; Borges e Gomes 2005).

Ao organizar a classificação, estivemos atentos, principalmente, à capacidade de reconhecer as comparações nas quais havia exemplos de controle de variáveis e ao entendimento dos objetivos da atividade que os alunos demonstraram ao justificar cada tipo de experimento. O quadro 6.2 apresenta o sistema de categorias que utilizamos.

Quadro 6.2 – Sistema de categorização das justificativas

Código	Tipo de Justificativa	Descrição
C1	Completa e relevante	Justificativa que leva em consideração todos os aspectos do controle de variáveis, além da questão proposta.
C2	Completa e irrelevante	Justificativa que, embora leve em consideração todos os aspectos do controle de variáveis, desconsidera o objetivo da atividade.
C3	Incipiente	Justificativa que inclui apenas alguns aspectos do controle de variáveis. Na maioria dos casos, a variável cujo efeito se deseja determinar é contrastada e alguma outra variável também varia. Essa variação é percebida pelo estudante que a considera irrelevante.
C4	Precária	Justificativa na qual o aluno centra sua atenção apenas na variável em foco, desconsiderando o que acontece com as demais.
C5	Irrelevante	Justificativa que se baseia em alguma concepção alternativa do estudante, sendo irrelevante se considerarmos o objetivo da atividade proposta.

A seguir, descrevemos detalhadamente cada uma das categorias estabelecidas. Também apresentamos exemplos para melhor compreensão das mesmas.

C1 - Justificativa completa e relevante

Quando o aluno apresenta esse tipo de justificativa, podemos perceber a sua preocupação e o seu entendimento em relação ao controle de variáveis. Ele afirma claramente a necessidade de se alterar apenas a variável cujo efeito se deseja determinar e de manter constantes as demais variáveis. Além disso, ele não perde o foco do problema proposto, isto é, o de determinar o efeito de uma variável específica, e considera bons apenas os testes que atendem aos objetivos especificados.

Exemplos:

- “Pode parecer que é um bom experimento por oferecer quase as mesmas condições para a esfera percorrer a rampa: mesma massa e mesma distância. Mas não é, pois a

inclinação sendo diferente, poderia influenciar no tempo e o objetivo é saber se a distância influi no tempo, não a inclinação.” (Experimento 5)

- “Neste experimento, três fatores variaram: a distância, a massa e a inclinação. Por isso não é possível saber qual dos três teve influência no tempo que as esferas gastam para descer a rampa.” (Experimento 2)

C2 - Justificativa completa e irrelevante

Essa justificativa demonstra que o aluno também possui um bom entendimento sobre o controle de variáveis e reconhece sua importância na determinação do efeito da variável que é contrastada. Porém, ao justificar, o aluno desconsidera ou perde o foco do objetivo da atividade, preocupando-se apenas com a ocorrência ou não de um caso de controle de variáveis, mesmo que a variável contrastada seja irrelevante para a solução do problema proposto.

Exemplos:

- “Este experimento é bom porque prova que a massa também interfere no tempo de chegada da bola”. (Experimento 1)
- “Esse é um bom experimento, pois facilita a experimentação. O que muda é só a inclinação.” (Experimento 5)

C3 - Justificativa incipiente

A utilização dessa justificativa demonstra que o aluno ainda não domina totalmente a ideia de controlar variáveis, pois mesmo percebendo que alguma outra variável também se altera, ele, ainda assim, acredita ser possível determinar o efeito da variável relevante. Muitas vezes, o aluno também falha em perceber quais variáveis estão sendo contrastadas nos experimentos.

Exemplos:

- “Nesse experimento é possível notar a diferença de tempo gasto pelas duas bolinhas, em distâncias diferentes, levando em consideração a distinção entre elas, o tamanho e a inclinação.” (Experimento 2)
- “Pode ser um experimento bom para observar como a distância em conjunto com outros fatores interfere no tempo.” (Experimento 4)

C4 - Justificativa precária

Classificamos como justificativa precária aquela em que o aluno demonstra preocupação apenas com a variável cujo efeito se deseja determinar, independentemente das variações das demais. Apesar de revelar um compromisso maior com o objetivo proposto, o

estudante mostra, por outro lado, que não tem consciência da importância do controle de variáveis para a lógica da experimentação.

Exemplos:

- “Ele não variou a distância e, portanto, não pode determinar se ela influencia ou não.” (Experimento 1)
- O experimento é bom pois variou-se a distância. Porém fatores como a massa também poderiam influenciar; a inclinação também.” (Experimento 2)

C5 - Justificativa irrelevante

Para avaliar os experimentos, muitos alunos recorreram à suas concepções alternativas sobre o tópico envolvido no problema (plano inclinado e movimento acelerado), explicitando, assim, o seu senso intuitivo de mecanismo.

Todas essas justificativas não apresentaram qualquer indício de entendimento de controle de variáveis e, em geral, desconsideravam o objetivo da atividade. Porém, talvez devido à incompreensão da atividade, muitas justificativas demonstravam preocupação com o resultado final do experimento, ou seja, estabelecer, por exemplo, o menor tempo para a esfera descer a rampa ou tempos iguais para as comparações experimentais. Tal comportamento é semelhante ao típico modo de trabalho de engenheiro (Schauble, Klopfer e Raghavan,1991).

Exemplos:

- “Porque você pode analisar qual esfera chega em menor tempo.” (Experimento 1)
- “Pois as bolas são de mesma massa, mas sua inclinação e sua distância são diferentes. Fazendo assim, a bola solta na distância pequena e inclinação grande chegará mais rápido do que a outra. (Experimento 4)

6.1.1.1 Análise dos experimentos

Tendo em vista essa categorização, analisamos e comparamos os principais resultados obtidos no pré e no pós-teste para cada experimento separadamente. Esse instrumento foi respondido por 202 estudantes no pré-teste e 174 estudantes no pós-teste, sendo que destes, 165 responderam os dois testes.

6.1.1.1.1 Experimento 1

O experimento 1 é do tipo consistente, mas irrelevante, ou seja, aquele em que uma outra variável independente (massa), mas irrelevante para o problema, assume valores diferentes, enquanto a variável relevante é mantida constante. Apesar de correto quanto ao controle de variáveis, tal experimento é inadequado para determinar a influência da variável relevante (distância).

No pré-teste, a soma das percentagens de ocorrência das categorias **C1** e **C2** (que levam em conta o controle de variáveis) foi de 61,1%, enquanto a percentagem da categoria **C5** foi de 21,5%. Já no pós-teste, as categorias **C1** e **C2** somaram 70,6%, e a percentagem da categoria **C5** diminuiu para 12,1%.

Comparamos as respostas nos testes dos 165 estudantes que forneceram alguma justificativa ao julgar esse experimento. (Tabela 6.1⁷). Destes, 49 tiveram suas respostas categorizadas como **C1** nos dois testes. Dos 116 estudantes restantes, 46 (39,7%) responderam ao pós-teste com justificativas mais sofisticadas. Apesar desse desempenho superior, não houve diferenças significativas entre os testes – MH (165) = 1,173, $p = 0,258^8$.

Tabela 6.1 – Comparação dos resultados nos testes – Experimento 1

Categorias	Pós-teste					Total	
	C1	C2	C3	C4	C5		
Pré-teste	C1	49	15	7	9	5	85
	C2	6	5	3	0	3	17
	C3	7	6	1	2	2	18
	C4	4	2	0	3	1	10
	C5	11	10	4	0	10	35
Total	77	38	15	14	21	165	

6.1.1.1.2 Experimento 2

Esse é um experimento inconsistente em todas as variáveis, ou seja, nele a variável relevante assume valores diferentes juntamente com as demais variáveis. Dessa forma, esse experimento é completamente inadequado para determinar o efeito da variável relevante.

⁷ As células em destaque nessa e nas tabelas subseqüentes, apresentam o número de alunos que melhoraram em relação ao pré-teste.

⁸ Para verificarmos a significância das mudanças no entendimento dos participantes da pesquisa, utilizamos o teste de homogeneidade marginal, que é similar ao teste de McNemar, porém, estendido para os casos nos quais a variável de interesse assume mais de dois valores nominais. Para cada teste realizado, reportamos o valor padronizado da estatística do teste e o nível de significância obtido.

No pré-teste, a percentagem de estudantes que tiveram suas respostas categorizadas como **C1** foi de 53,7%, enquanto a percentagem das justificativas irrelevantes (**C5**) foi de 28,9%. No pós-teste, a percentagem das justificativas categorizadas como **C1** aumentou para 70,5%, e a percentagem das justificativas irrelevantes diminuiu para 15,0%.

Quando comparamos os resultados dos dois testes (tabela 6.2), podemos concluir que há uma diferença significativa entre ambos – $MH(165) = 3,740$, $p < 0,001$. Dos 165 estudantes, 84 responderam aos dois testes de forma completa e relevante (**C1**). Dos 81 estudantes restantes, 39,5% tiveram suas justificativas categorizadas nos pós-teste como **C1**. Assim, para esse experimento, o desempenho dos estudantes no pós-teste foi superior ao do pré-teste.

Tabela 6.2 – Comparação dos resultados nos testes – Experimento 2

	Categorias	Pós-teste					Total
		C1	C2	C3	C4	C5	
Pré-teste	C1	84	0	8	0	3	95
	C2	1	0	0	0	0	1
	C3	11	0	8	1	3	23
	C4	3	0	0	0	0	3
	C5	17	0	8	0	18	43
Total		116	0	24	1	24	165

6.1.1.1.3 Experimento 3

Trata-se de um experimento adequado e consistente, ou seja, a variável em foco (distância), relevante para a solução do problema proposto e cujo efeito se deseja determinar, assume valores diferentes, enquanto as demais são mantidas constantes. Esse é, portanto, o experimento correto para demonstrar o efeito da variável em foco.

No pré-teste, 74,0% dos estudantes conseguiram dar justificativas à adequação desse experimento que foram categorizadas como **C1**. A percentagem de justificativas irrelevantes foi de 24,4%. No pós-teste, houve pouca variação. A percentagem das justificativas categorizadas como **C1** aumentou para 79,8% e as justificativas categorizadas como **C5** diminuiu para 18,5%.

Quando comparamos os resultados (tabela 6.3) percebemos que não houve diferenças significativas entre os testes – $MH(163) = 0,849$, $p = 0,425$, apesar do desempenho dos estudantes no pós-teste ter sido ligeiramente superior ao do pré-teste. Dos 163 estudantes que responderam a esse experimento nos dois testes, 110 estudantes apresentaram justificativas

adequadas e relevantes em ambos. Dos outros 53 estudantes, 21 (39,6%) sofisticaram suas justificativas.

Tabela 6.3 – Comparação dos resultados nos testes – Experimento 3

Categorias	Pós-teste					Total	
	C1	C2	C3	C4	C5		
Pré-teste	C1	110	0	2	0	13	125
	C2	1	0	0	0	0	1
	C3	3	0	0	0	0	3
	C4	0	0	0	0	0	0
	C5	17	0	0	0	17	34
Total	131	0	2	0	30	163	

6.1.1.1.4 Experimento 4

Esse é um experimento inconsistente em uma variável, ou seja, aquele em que a variável relevante (distância) e uma segunda variável (inclinação), irrelevante para a questão apresentada, variam. Apenas um fator é mantido constante nesse experimento e, por isso, esse experimento é inadequado para determinar o efeito da variável relevante.

No pré-teste, a percentagens de ocorrência da categoria C1 foi de 60,7%, enquanto a percentagem da categoria C5 foi de 28,1%. Já no pós-teste, a percentagem da categoria C1 aumentou para 72,3%, e a percentagem da categoria C5 diminuiu para 16,8%.

Tabela 6.4 – Comparação dos resultados nos testes – Experimento 4

Categorias	Pós-teste					Total	
	C1	C2	C3	C4	C5		
Pré-teste	C1	92	0	6	0	10	108
	C2	0	0	0	0	0	0
	C3	9	0	5	0	2	16
	C4	1	0	0	0	0	1
	C5	18	0	6	0	15	39
Total	120	0	17	0	27	164	

Ao compararmos os resultados dos 164 estudantes que responderam a esse experimento nos dois testes (Tabela 6.4), concluímos que houve uma diferença significativa nos resultados de ambos – $MH(164) = 2,091$, $p = 0,041$. Dos 72 estudantes que podiam melhorar o desempenho no pós-teste, 28 (38,9%) o fizeram.

6.1.1.1.5 Experimento 5

Por fim, o experimento 5 também trata-se de um experimento consistente mas irrelevante. Nesse experimento outra variável independente (inclinação) assume valores diferentes, enquanto a variável relevante é mantida constante. Apesar de ser correto quanto ao controle de variáveis, esse experimento é inadequado para determinar a influência da variável relevante (distância).

No pré-teste, a soma das percentagens de ocorrência das categorias **C1** e **C2** (que levam em conta o controle de variáveis) foi de 61,6%, enquanto a percentagem da categoria **C5** foi de 23,1%. Já no pós-teste, as categorias **C1** e **C2** somaram 69,4% e a percentagem da categoria **C5** diminuiu para 15,6%.

Comparamos as respostas dos 164 estudantes que responderam ao experimento nos dois testes. (Tabela 6.5). Desses, 55 tiveram suas respostas categorizadas como **C1** em ambos os testes. Dos 109 estudantes restantes, 38 (34,9%) responderam ao pós-teste com justificativas mais sofisticadas (**C1** e **C2**). Apesar desse desempenho superior, não houve diferenças significativas entre os testes – MH (164) = 0,963, $p = 0,359$.

Tabela 6.5 – Comparação dos resultados nos testes – Experimento 5

Categorias	Pós-teste					Total	
	C1	C2	C3	C4	C5		
Pré-teste	C1	55	13	6	3	3	80
	C2	7	9	3	1	5	25
	C3	12	6	2	1	4	25
	C4	0	0	1	1	0	2
	C5	6	7	6	0	13	32
Total	80	35	18	6	25	164	

Ao analisarmos os experimentos, percebemos que, com exceção do *experimento 1*, a percentagem de ocorrência da justificativa **C1** foi maior no pós-teste do que no pré-teste, o que indica uma sofisticação no raciocínio do pensamento do estudante para a resolução do problema proposto. Nos *experimentos 1 e 5* - experimentos do tipo consistente mas irrelevante - ocorreu um controle efetivo de variáveis, porém a variável modificada não atende aos objetivos da atividade. Nesses casos, há um aumento nas ocorrências da justificativa **C2** para esses experimentos entre o pré e o pós-teste, sobretudo no *experimento 1*, o que indica que muitos alunos desconsideraram os objetivos da atividade, considerando apenas o controle de variáveis quanto a adequação ou não do experimento. As similaridades das percentagens da

justificativa **C1** e **C2** entre os *experimentos 1 e 5* de cada teste indica o mesmo, já que os experimentos são semelhantes.

Os *experimentos 2 e 4* são adequados ao objetivo da atividade, mas inconsistentes quanto ao controle de variáveis, uma vez que além da distância (variável de interesse), outras variáveis também são alteradas. A percentagem de justificativas **C1** nos dois experimentos aumentou significativamente, o que indica que as inconsistências desses experimentos foram melhor observadas no pós-teste.

O *experimento 3* consiste em um experimento adequado e relevante e, portanto, ideal para atingir o objetivo da atividade. Foi o melhor avaliado pelos alunos, tanto no pré quanto no pós-teste, o que indica que os alunos não tiveram dificuldades em reconhecê-lo como um bom teste experimental.

A frequência das justificativas irrelevantes (**C5**) é relativamente constante nos experimentos. No pré-teste, 97 estudantes (48,0%) tiveram alguma de suas justificativas categorizadas como **C5**. No pós-teste, esse número diminuiu para 41 (23,6%). Desses alunos, nenhum teve apenas uma justificativa categorizada como **C5**. Esses dados indicam uma má compreensão dos objetivos da atividade e não uma dificuldade localizada em avaliar um ou outro tipo de experimento.

Muitas das justificativas categorizadas como **C5**, considerando o pré e o pós-teste, apresentam indícios de que os alunos trataram os problemas segundo o ‘modo de engenharia’, proposto por Schauble, Klopfer e Raghavan (1991). Ainda que estivesse explícito, nas instruções escritas no livreto e na apresentação oral durante a aplicação dos testes, que o objetivo da atividade ilustrada era o de determinar o efeito da distância sobre o tempo de descida da esfera, percebemos que, ao analisarem os problemas, alguns alunos desconsideraram os objetivos previamente propostos e consideraram os objetivos mais práticos visando a otimização do resultado – comportamento característico do ‘modo de engenharia’ citado anteriormente. Esses alunos avaliaram os experimentos para, por exemplo, obter a configuração que proporcionasse o menor tempo gasto pela esfera ou que proporcionasse o mesmo tempo para as duas situações experimentais. Assim, a diminuição da ocorrência das justificativas **C5** do pré-teste para o pós-teste também é um indício da sofisticação na resposta dos estudantes.

Os resultados obtidos no pós-teste são superiores aos que obtivemos em um trabalho anterior (Borges e Gomes, 2005). Naquela ocasião, participaram da pesquisa alunos do segundo ano do ensino médio de uma escola particular, na qual as atividades práticas de física eram raras. O instrumento utilizado foi semelhante, abordando apenas domínios teóricos

diferentes. No geral, 55,6% das respostas dos participantes foram categorizadas como completa e relevante (**C1**) e 29,9% categorizadas como irrelevantes (**C5**).

6.1.1.2 Comparações entre os testes

Como se trata de um aspecto importante durante uma atividade experimental, o controle de variáveis deve ser sempre considerando, independente do tipo de atividade, do grau de dificuldade e do domínio teórico do tema da investigação. Para analisarmos a capacidade dos estudantes de avaliar os diversos experimentos corretamente, levantamos o número e a porcentagem de alunos cujas cinco respostas tenham sido categorizadas como **C1** (justificativa completa e relevante). Chamamos esses estudantes de robustos, sendo que a robustez indica dois aspectos importantes:

- Que o aluno, além de demonstrar saber o que é uma estratégia adequada para controlar variáveis e revelar capacidade de distinguir entre experimentos bons e confusos, tem também um entendimento claro do objetivo da atividade, levando-o em consideração na avaliação dos testes propostos.
- Que o aluno domina bem a estratégia correta de controle de variáveis, já que soube reconhecê-la independente do tipo de experimento, o que provavelmente está relacionado a uma boa compreensão da lógica da experimentação.

No pré-teste, dos 242 estudantes que realizaram o teste, 65 (26,9%) apresentaram ou expressaram justificativas **C1** em todas as respostas. Já no pós-teste, dos 174 estudantes que realizaram o teste, 61 (35,1%) o fizeram.

Ao compararmos os resultados dos testes na tabela 6.6, verificamos que 28 estudantes demonstraram robustez em ambos os testes. Dos outros 137 estudantes, 31 (22,6%) atingiram a robustez no pós-teste. Porém, essa melhora no pós-teste não foi suficiente para produzir diferenças significativas entre os testes – $MH(165) = 1,540$, $p = 0,161$.

Tabela 6.6 – Comparação dos resultados nos testes – Robustez

		Pós-teste		Total
		Robusto	Não	
Pré-teste	Robusto	28	20	48
	Não	31	86	117
Total		59	106	165

A pequena percentagem de estudantes robustos no pós-teste pode indicar que, apesar de saber identificar testes adequados e consistentes em alguns casos, a maioria dos estudantes apresentou dificuldades ao avaliar todos os tipos de experimentos envolvidos.

Se considerarmos válidas as justificativas categorizadas como **C2** (completa e irrelevante), obtemos então diferenças mais significativas entre os testes – $MH(165) = 2,940$, $p = 0,005$. Pela tabela 6.7 observamos que dos 165 estudantes, 41 tiveram todas as justificativas categorizadas como **C1** ou **C2** nos experimentos do pré e do pós-teste. Dos outros 124 estudantes, 39 (31,5%) sofisticaram suas justificativas no pós-teste.

Tabela 6.7 – Comparação dos resultados nos testes – Categorias C1 + C2

Categorias		Pós-teste		Total
		C1 +C2	Outras	
Pré-teste	C1 +C2	41	17	58
	Outras	39	68	107
Total		80	85	165

Dos 165 estudantes que realizaram os dois testes, 64 deles obtiveram um resultado melhor no pós-teste, 65 obtiveram o mesmo resultado e apenas 36 obtiveram um resultado inferior.

Analizamos detalhadamente os dados dos 64 estudantes que obtiveram melhores resultados no pós-teste para identificarmos alguns padrões na melhora do desempenho dos estudantes. Entre eles, 21 melhoraram em apenas um experimento, 28 melhoraram em dois experimentos, 10 melhoraram em três experimentos, 2 melhoraram em quatro experimentos e 3 melhoraram nos cinco experimentos. A tabela 6.8 descreve os principais padrões identificados.

Tabela 6.8 – Melhora no desempenho dos estudantes nos experimentos

Melhora no desempenho	Número de Estudantes
Apenas Experimento 1 ou Apenas Experimento 5	13
Experimento 1 e Experimento 5	10
Apenas Experimento 2 ou apenas Experimento 4	7
Experimento 2 e Experimento 4	6
Experimento 2 e Experimento 5	7
Experimento 2 e Experimento 1	6
Experimento 3	10

Os estudantes podem ser divididos de acordo com a melhora no seu desempenho. O primeiro grupo são os estudantes que avaliaram melhor no pós-teste os *experimentos 1 e 5*

(experimentos consistentes mas irrelevantes). Nesse grupo, de 23 estudantes, não estão incluídos aqueles que tiveram suas justificativas categorizadas no pré-teste como **C1** e **C2**, uma vez que, nesse caso, o que houve foi uma maior atenção com relação ao objetivo da atividade e não em relação ao controle de variáveis em si.

O segundo grupo é formado pelos estudantes que melhoraram a avaliação dos *experimentos 2 e 4*. Ambos são experimentos inconsistentes, pois outras variáveis, além da variável em foco, sofrem alteração. Na análise dos experimentos, vimos que esses foram os mais difíceis para os estudantes, já que para avaliá-los corretamente, eles deveriam necessariamente compreender o que significa realizar um bom experimento. Portanto, a melhora na avaliação desses experimentos indica uma sofisticação e um maior domínio de tal habilidade.

Já o terceiro grupo é formado pelos estudantes que melhoraram a avaliação do *experimento 3*. Como vimos, esse foi o experimento que os estudantes tiveram maior facilidade para avaliar. Quase todos os 10 estudantes tiveram no pré-teste pelo menos quatro justificativas categorizadas como irrelevante (**C5**), demonstrando, assim, que ainda não entendiam a importância e a lógica do controle de variáveis. Ao avaliar, no pós-teste, pelo menos o experimento 3 adequadamente, esses alunos demonstraram um início de preocupação com o controle de variáveis e um desenvolvimento da habilidade requerida.

Já os três alunos que melhoraram nos cinco experimentos, tiveram, no pré-teste, pelo menos três justificativas categorizadas como **C5** e as demais como **C3** ou **C4**. Há duas explicações possíveis para essa melhora significativa desses alunos. Eles podem não ter compreendido os objetivos da atividade no pré-teste e o fizeram no pós-teste. Ou, realmente, eles aprenderam e desenvolveram habilidades relacionadas ao controle de variáveis ao longo do ano letivo.

Deve-se ressaltar que assuntos relacionados ao controle de variáveis são tratados, na escola, apenas de forma implícita durante as aulas de laboratório de Física. A ocorrência das justificativas irrelevantes, precárias e incipientes (**C5**, **C4** e **C3**) pode indicar uma menor capacidade de reconhecer testes adequados e consistentes, uma vez que indicam que os alunos recorreram a suas concepções e idéias causais intuitivas para tentar resolver o problema proposto. Esse resultado é um indício do desconhecimento dos alunos quanto ao significado do que seja, de fato, realizar um experimento, bem como os cuidados necessários durante a sua realização.

6.1.1.3 Construção do escore sobre reconhecimento de testes adequados e consistentes

Nosso instrumento de pesquisa foi composto por conjunto de 5 experimentos avaliados pelos estudantes de acordo com a sua adequação para a resolução dos problemas propostos. O objetivo era criar um escore total para esse instrumento que permita a triangulação dos dados e a comparação do desempenho dos estudantes nas demais atividades da pesquisa. Para isso, atribuímos um ponto para cada justificativa categorizada como **C1** ou **C2** e zero para as demais.

A categoria **C2** foi incluída para se criar um escore que represente, principalmente, a capacidade do indivíduo em reconhecer situações nas quais há um controle efetivo de variáveis. Para que o estudante compreenda o que é um experimento, é fundamental a idéia de variar um fator de cada vez, mantendo os demais constantes. Nesse sentido, as justificativas **C2** falham apenas em reconhecer o objetivo da atividade o que pode ser fruto de desatenção mas não comprometem o controle de variáveis.

Assim, para cada participante da pesquisa, foi atribuído um escore final total na atividade, que pode variar de 0 a 5 pontos. Para a construção dessa escala, consideramos apenas os dados do pós-teste.

Como o escore final na atividade é composto pela soma de acertos em cada um dos experimentos do teste, torna-se necessário a realização da análise de consistência interna do instrumento de pesquisa. Inicialmente, determinamos o coeficiente de correlação entre cada um dos experimentos que compunha o teste e o escore total. Esses coeficientes são apresentados em uma matriz de correlações na tabela 6.9.

Tabela 6.9 – Matriz de correlação entre os itens do instrumento

Experimentos	1	2	3	4	5
1	1,00				
2	0,42	1,00			
3	0,32	0,63	1,00		
4	0,32	0,54	0,72	1,00	
5	0,57	0,43	0,46	0,52	1,00
Total	0,51	0,64	0,68	0,67	0,63

Todas correlações significantes para $p = 0,01$.

Observa-se que as correlações entre os experimentos são moderadas, entre 0,32 e 0,72, com média 0,49. Já as correlações dos experimentos com o escore total na atividade são mais elevadas e homogêneas (0,51 a 0,68). Para assegurarmos a construção da variável “Escore

Total”, somando-se o número de justificativas **C1** e **C2** para os experimentos que compunham o teste, determinamos o coeficiente alfa de Cronbach. O valor do coeficiente alfa de Cronbach é uma medida de fidedignidade que mede a homogeneidade dos componentes da escala, ou seja, a consistência interna dos itens que compõem determinada variável.

Nesse caso, o valor de alfa de Cronbach obtido foi de 0,87, valor considerado alto, dado o pequeno número de itens (experimentos) do teste. Esse valor, juntamente com as correlações apresentadas na tabela 6.9, garantem que podemos sintetizar na variável ‘Total’ o resultado e a soma de acertos no pós-teste.

O escore total nos permitiu verificar se houve a influência dos professores na aquisição e no refinamento da habilidade de reconhecer testes adequados e consistentes. Como foi dito no capítulo 5, quatro professores lecionaram nas oito turmas, sendo duas turmas para cada professor. Os professores divergiam muito quanto à formação acadêmica e quanto ao tempo de docência. Mas, de modo geral, as atividades foram trabalhadas da mesma forma por todos, atendendo às recomendações da coordenação da série. Por meio do teste de Kruskal-Wallis, verificamos que não houve diferenças significativas entre as turmas – $H(165,3) = 1,538, p = 0,674$.

6.1.2 Questão sobre controle de variáveis

A **Questão 2** do questionário **CE-1** (figura 5.3) também aborda a questão do controle de variáveis. Porém, diferentemente do teste de reconhecimento, a questão apresenta como opções diversos procedimentos que o estudante deve realizar para responder a questão proposta. A questão consiste em um experimento fictício no qual havia duas esferas de massas diferentes que poderiam ser soltas, uma por vez, de duas alturas diferentes. Após serem soltas, as esferas desceriam uma rampa de madeira e colidiriam com uma esfera alvo. A esfera alvo percorreria então, uma certa distância até parar. O objetivo do experimento era determinar se a altura na qual as esferas foram soltas tem influência na distância percorrida pela esfera alvo após a colisão.

A questão era dividida em duas tarefas. No **item (i)**, eram apresentados, na forma de múltipla escolha, quatro opções de procedimentos e os estudantes deveriam escolher aquele que julgassem mais adequado e apresentar uma justificativa para a escolha. A opção (a) apresenta um experimento inconsistente em uma variável, ou seja, no procedimento proposto, além da variável relevante (altura), uma segunda variável, irrelevante para a questão

apresentada (massa), também altera. A opção (b) também apresenta um experimento inconsistente, semelhante à opção (a). Na opção (b), as alturas e as massas são invertidas. Já a opção (c) apresenta o procedimento de um experimento adequado e consistente, no qual a massa da esfera é mantida constante e a mesma esfera é lançada de alturas diferentes. Por fim, a opção (d) apresenta o procedimento de um experimento consistente mas inadequado, pois a variável alterada não é a altura, mas sim, a massa da esfera.

Dos 238 estudantes que responderam à questão no pré-teste, 165 (69,3%) optaram pela opção correta (c). Das opções incorretas, a opção (a) foi a mais escolhida - 35 estudantes (14,7%). No pós-teste, feito por 173 estudantes, 130 (75,1%) escolheram a opção (c). Já a opção incorreta mais marcada foi a opção (d) – 21 estudantes (12,1%). Observa-se que houve um aumento percentual dos estudantes que optaram pela opção mais adequada (c) e um aumento da opção (d), que, se avaliarmos apenas o controle de variáveis, também estaria correta.

Comparamos os resultados dos 166 estudantes que realizaram os dois testes. Pela tabela 6.10, vemos que 106 estudantes optaram pela opção correta em ambos os testes. Dos 60 estudantes restantes, apenas 18 (30,0%) optaram pela opção correta no pós-teste, não havendo assim diferenças significativas – $MH(166) = 0,343$, $p = 0,864$.

Tabela 6.10 – Comparação entre os testes – Questão 2 (i)

	Opção	Pós-teste		Total
		Correta	Incorreta	
Pré-teste	Correta	106	16	122
	Incorreta	18	26	44
Total		124	42	166

É interessante observar que, apesar das opções (a) e (b) serem idênticas quanto ao tipo de experimento, tanto no pré-teste, quanto no pós-teste, os alunos tiveram uma preferência maior pela opção (a). Pelas justificativas dos alunos, podemos perceber que eles atribuíram, de forma inadequada, outros objetivos à questão. Veja as seguintes justificativas:

- “A esfera de maior massa está em H2, portanto, uma distância menor. Porém a esfera menor está mais distante e, apesar de mais leve, com a distância ela ganha velocidade e força podendo mandar a esfera alvo na mesma distância da primeira esfera.”
- “Este é o melhor procedimento, pois dá energia cinética para a esfera menor ter o mesmo impacto da esfera maior.”

Pelas justificativas, percebe-se que esses alunos atribuíram à atividade, objetivos práticos ligados ao “modo de engenharia” proposto por Schauble, Klopfer e Raghavan (1991). Nos casos acima, interpretamos como objetivo fazer com que a esfera alvo percorra a mesma distância.

Analisamos as respostas apresentadas pelos alunos ao justificarem a opção escolhida para resolver o problema. Consideramos relevantes as justificativas nas quais os estudantes deixaram claro que optaram por essa resposta considerando o controle de variáveis e, como irrelevantes, as justificativas que não apresentaram indícios de que a escolha do aluno se baseou nesse critério. Abaixo estão dois exemplos de justificativas relevantes:

- “Já que queremos saber se a altura influencia na distância percorrida pela esfera alvo, então a única coisa que deve estar diferente é a altura e não a massa.”
- “O mais adequado para atender o objetivo de determinar se a altura irá interferir no resultado final, seria o C porque iria variar apenas a altura em duas situações iguais. Se a massa das esferas for diferente o resultado final terá sido interferido.”

O número de justificativas categorizadas como relevantes foi 145 (60,9%) no pré-teste e 124 (71,7%) no pós-teste. Quando comparamos os dois testes (tabela 6.11), dos 68 estudantes que poderiam apresentar respostas mais sofisticadas no pós-teste, 20 (29,4%) o fizeram. Novamente, apesar dos resultados do pós-teste terem sido superiores ao do pré-teste, não houve diferenças significativas.

Tabela 6.11 – Comparação entre os testes – Justificativas Questão 2 (i)

		Pós-teste		Total
		Relevante	Irrelevante	
Pré-teste	Relevante	98	10	108
	Irrelevante	20	38	58
Total		118	48	166

A questão sobre o controle de variáveis envolvia uma segunda tarefa (**item (ii)**), mais fácil que a primeira já que foi dito aos estudantes, no enunciado, que alguém havia solto a esfera de massa menor de uma dada posição. Perguntava-se ao estudante o que ele deveria fazer em seguida para determinar se a altura influencia na distância percorrida pela esfera alvo. Novamente, eram dados quatro procedimentos para que os estudantes escolhessem a opção que julgassem mais adequado e apresentando uma justificativa.

A opção (**a**) sugeria que a esfera de massa maior fosse lançada da mesma posição. Tal experimento configura-se como um experimento consistente mas inadequado, por ser

indicado para testar a influência da massa e não a da altura. A opção (b) não produziria nenhum efeito, apenas repetiria o que já havia sido feito. A opção (c) resultaria num experimento inconsistente, pois variava a massa e a altura ao mesmo tempo. E, finalmente, a opção (d) produziria um experimento adequado e consistente.

No pré-teste, 195 (81,2%) estudantes optaram pela opção correta (d) e, no pós-teste 147 (85,0%) o fizeram. Ao compararmos os resultados (tabela 6.12) dos estudantes que fizeram os dois testes, percebemos que não houve diferenças significativas, uma vez que o índice de acerto da questão foi bastante elevado já no pré-teste.

Tabela 6.12 – Comparação entre os testes – Questão 2 (ii)

		Pós-teste		Total
		Correta	Incorreta	
Pré-teste	Opção Correta	129	12	141
	Opção Incorreta	13	12	25
Total		142	24	166

Como na primeira tarefa, classificamos as respostas dos alunos quanto aos aspectos sobre o controle de variáveis. No pré-teste, 156 estudantes (65,5%) justificaram suas escolhas de modo relevante, considerando o controle de variáveis, e no pós-teste, 136 (78,6%) o fizeram. Apesar do aumento na percentagem de justificativas relevantes no pós-teste, ao observarmos a tabela 6.13 percebemos que não houve diferenças significativas entre os resultados os alunos que fizeram os dois testes.

Tabela 6.13 – Comparação entre os testes – Questão 2 (ii)

		Pós-teste		Total
		Relevante	Irrelevante	
Pré-teste	Justificativa Relevante	107	13	120
	Justificativa Irrelevante	24	22	46
Total		131	35	166

Para corroborar nosso resultado, comparamos o desempenho dos estudantes nessa questão com o instrumento de reconhecimento de testes adequados e consistentes. Para isso, atribuímos para as duas questões – Q(i) e Q(ii) - o escore 1, se caso o aluno tiver escolhido a opção correta, e 0, caso contrário. Também valorizamos as duas justificativas – J(i) e J(ii) –, sendo 1 para as justificativas relevantes e 0 para as irrelevantes. A nota atribuída a cada aluno poderia variar de 0 a 4 pontos. Avaliamos a consistência interna do escore total criado através de correlações entre os itens e entre os itens e o total. Os valores obtidos estão representados abaixo, na tabela 6.14.

Tabela 6.14 – Matriz de correlação entre os itens do instrumento

Itens	Q(i)	J(i)	Q(ii)	J(ii)
Q(i)	1,00			
J(i)	0,92	1,00		
Q(ii)	0,51	0,53	1,00	
J(ii)	0,58	0,67	0,81	1,00
Total	0,88	0,94	0,73	0,84

Todas correlações significantes para $p = 0,01$.

As correlações entre os itens variaram entre 0,51 e 0,92, com média de 0,67. As correlações entre os itens e o escore total variaram entre 0,73 e 0,94, com média de 0,85. Calculamos também o alfa de Cronbach, correspondente a 0,89, valor que pode ser considerado como elevado devido ao tamanho reduzido da nossa escala (quatro itens).

Calculamos por fim, a correlação entre o escore da questão e o escore do instrumento sobre o reconhecimento de testes adequados e consistentes. Para esse cálculo, consideramos apenas os resultados do pós-teste. O coeficiente de correlação obtido (ρ de Spearman) foi 0,47, com um nível de significância de 0,01. Com isso, podemos inferir que o aluno que teve facilidades para reconhecer comparações experimentais que utilizam o controle de variáveis, também teve, em geral, facilidades para propor procedimentos para realizar testes adequados e consistentes.

Durante as gravações das atividades desenvolvidas pelos estudantes, pudemos perceber a evolução na compreensão da importância de se controlar variáveis para a obtenção de dados confiáveis e interpretáveis. Na terceira atividade realizada no laboratório, sobre movimento retilíneo uniforme, os estudantes utilizaram um tubo fino com água, dentro do qual uma bolha de ar pode se movimentar. O objetivo da atividade era determinar a velocidade da bolha. Para isso, os estudantes mediam o tempo que a bolha levava para percorrer diferentes distâncias dentro do tubo. Nessa atividade, um grupo iniciou a atividade segurando o tubo com as mãos, sem se preocupar em manter a inclinação bem controlada. Após verificarem alguns resultados, constataram a necessidade de manter a inclinação constante:

A1- “4,28 segundos.”

A2- “4,28 segundos?”

A1- “Sabe por que muda? Porque é o seguinte: a inclinação nunca é a mesma. Querendo ou não tem o erro da inclinação.”

A2- “Não seria melhor apoiar em alguma coisa, para ficar mais certinho.”

A3- “A idéia não é essa, ter erros de medida?”

A2- “Não.”

A3- “A gente vai medir 3 vezes e pegar o tempo médio.”

A2- “Mesmo com a mesma inclinação daria resultados diferentes.”

P- “Por que daria resultados diferentes com a mesma inclinação?”

A2- “Porque tem diferença no tempo de apertar o cronômetro.”

Por essa passagem, percebe-se a surpresa da estudante **A2** com o resultado obtido. Apesar de saber que a inclinação pode influenciar os resultados, a estudante **A1** não sugere que o grupo mantenha uma mesma inclinação, o que é sugerido pela estudante **A2**. Já a estudante **A3** não reconhece a importância desse controle de variáveis. Ela sugere em sua primeira intervenção que o objetivo da atividade relaciona-se aos erros de medida, assunto que estudaram no início do ano. Após esse diálogo os estudantes continuaram a coletar os dados segurando o tubo com as mãos e só depois da obtenção de outros resultados contraditórios, resolveram perguntar ao professor. O professor recomendou então, fixar a inclinação do tubo. No relatório, escrito individualmente pelos estudantes, a estudante **A2** escreveu:

“Quando iniciamos a prática esquecemos que a inclinação tinha que ser fixa, portanto, tivemos que começar novamente. Dessa vez, usando um paralelepípedo para fixar a inclinação de modo que ela variasse o mínimo possível.”

Na nona atividade desenvolvida no ano, os estudantes deveriam planejar e executar os procedimentos adequados para que pudessem determinar os fatores que afetam o período do pêndulo. Durante a realização dessa atividade, foi perguntado aos estudantes:

P- “O que vocês farão para determinar a influência da massa?”

A1- “Usando o mesmo tamanho da corda, vamos usar três corpos de massa diferentes e determinar os períodos para cada um dos corpos.”

P- “Por que vão usar o mesmo comprimento?”

A2- “Se eu quero ver se isso [*aponta para a massa do pêndulo*] varia, todos os outros devem ser iguais. Se eu variar outro fator, não tem como saber se foi a massa que fez o período mudar.”

Em outro grupo, a mesma pergunta foi feita aos estudantes enquanto realizavam a atividade:

P- “O que vocês farão para determinar a influência da massa?”

A1- “Pegamos três massas, vamos fazer a experiência com o mesmo comprimento da linha e o mesmo ângulo.”

P- “Por quê?”

A2- “Para variar somente a massa. Pois o comprimento e o ângulo são outras coisas que a gente acredita que pode variar o período”.

P- “E para determinar a influência do comprimento do pêndulo?”

A2- “Para comparar o comprimento, a massa tem que ser a mesma”.

Nos dois diálogos acima, pode-se perceber que os alunos, não só sabem realizar procedimentos que consideram o controle de variáveis, como também compreendem a sua importância. Ao analisar o caderno de relatórios dos estudantes, pudemos identificar várias passagens que mencionam os procedimentos adotados:

“Marcamos o tempo com que a bolha de ar completava os 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 cm, mantendo uma inclinação com o toco deitado, repetindo o processo por três vezes. Após anotar os resultados na tabela, calculamos o tempo médio e o erro médio. Refizemos todo esse processo, porém agora medindo o tempo a uma inclinação do tubo sobre o toco de madeira em pé.”

“Assim sendo, pegamos um suporte em forma de “L” invertido e o fixamos na mesa. No meio da haste horizontal amarramos um cordão de 70 cm de comprimento e na sua ponta amarramos um objeto de massa igual a 50 g. Para determinar o período deste pêndulo utilizamos a haste vertical do suporte como ponto de partida, ou seja, encostamos o objeto na haste e soltamos e com o cronômetro, medimos o período do pêndulo. Este procedimento foi executado com mais dois objetos (100g e 200g), cinco vezes cada um. Depois medimos com o cronômetro o período de pêndulos com 20, 50 e 80cm, sendo que a massa era a mesma para todos os comprimentos (100g). Utilizamos como ponto de partida do lançamento do objeto o mesmo da prática anterior.”

“Primeiramente, fizemos as contagens do período do pêndulo variando somente o comprimento da corda, soltando, portanto, o mesmo peso, de um mesmo ângulo, de três comprimentos de corda diferentes. Realizamos as contagens três vezes, para uma maior precisão. Para compreender a influência do peso e do ângulo, realizamos os mesmos procedimentos, mantendo todas as variáveis constantes, exceto por aquela que estamos trabalhando.”

“O primeiro procedimento que realizamos foi medir o período do pêndulo com um tamanho de cordão fixo e diferentes objetos (massas diferentes). Realizamos a medida para cada peso várias vezes. No segundo experimento invertemos as coisas: utilizamos diferentes tamanhos de cordão e uma massa constante; também realizamos os experimentos várias vezes. Nos dois primeiros procedimentos, soltamos o objeto do mesmo ângulo. No terceiro procedimento determinamos massa e tamanho do cordão fixo, variando o ângulo de abertura.”

Nesses trechos, pudemos identificar a preocupação dos estudantes em controlar as variáveis envolvidas nas atividades. Em outros casos, apesar de executarem procedimentos considerando um controle eficiente de variáveis, os estudantes não mencionaram tal preocupação claramente nos relatórios.

Com esses resultados, podemos concluir que a realização das atividades de laboratório ao longo do ano letivo contribuiu para aumentar e desenvolver as habilidades de parte dos estudantes em reconhecer testes adequados e consistentes, além de propor, reconhecer e executar procedimentos com um controle de variáveis efetivo.

6.2 Conceito de evidência: tamanho da amostra

Para identificarmos as concepções dos estudantes sobre o tamanho da amostra e se eles reconhecem a necessidade da realização de medidas repetidas, analisamos suas respostas à **Questão 3 item (i)** do questionário **CE – 1** (figura 5.4).

No **item (i)**, um grupo de três alunos discute sobre as possíveis estratégias de coleta de dados para se alcançar o objetivo proposto. São apresentados o comentário de cada estudante do grupo que divergia principalmente, sobre a quantidade de medidas a serem realizadas para cada altura **h**. O aluno deveria escolher a opção considerasse mais pertinente, apresentando uma justificativa. Os comentários diferenciam-se, basicamente, pela quantidade de medidas a serem realizadas:

Estudante 1 – Soltaremos a esfera de cada uma das alturas **h** e mediremos a distância alcançada por ela apenas uma vez. Uma medida da distância para cada altura basta.

Estudante 2 – Faremos duas medidas da distância alcançada pela esfera para cada altura.

Estudante 3 – Faremos pelo menos 5 medidas da distância alcançada pela esfera para cada altura.

No pré-teste, dos 238 alunos, 179 (75,2%) optaram corretamente pelo comentário do **Estudante 3**. No pós-teste, dos 173 estudantes, 160 (92,5%) o fizeram.

Comparamos as diferenças entre os resultados, contrastando as respostas dos 164 estudantes que realizaram os dois testes (tabela 6.15). Desses alunos, 117 concordaram com o **Estudante 3** em ambos os testes. Dos 47 estudantes restantes, 36 (76,6%) mudaram de

opinião e concordaram com o **Estudante 3** no pós-teste, o que resultou numa diferença significativa entre os testes - $MH(164) = 4,308, p < 0,001$.

Podemos ver que a maioria dos alunos, já no pré-teste, percebeu a necessidade de se realizar mais medidas. Tal consciência foi acentuada durante a realização das atividades de laboratório.

Tabela 6.15 – Comparação dos resultados dos testes – Tamanho da amostra

	Comentário	Pós-teste			Total
		Estudante 3	Estudante 2	Estudante 1	
Pré-teste	Estudante 3	117	5	3	125
	Estudante 2	16	2	0	18
	Estudante 1	20	1	0	21
Total		153	8	3	164

Analisamos também as justificativas utilizadas para sustentar a escolha do comentário. Observando os padrões de respostas fornecidas pelos estudantes e, recorrendo a algumas categorias criadas por Lubben e colaboradores (2001), desenvolvemos uma categorização para as justificativas dos participantes. Para cada um dos três comentários, fez-se necessário desenvolver categorias específicas. As demais categorias se aplicam a mais de um comentário.

Justificativas para a escolha do comentário do Estudante 1 – Apenas uma medida

Em geral, os estudantes que optaram pelo comentário do **Estudante 1** não reconhecem a necessidade de se realizar mais do que uma medida, porém as justificativas divergem. Enquanto alguns alunos acreditam que o resultado será sempre o mesmo, outros defendem que os resultados podem divergir quando se coleta mais dados. Portanto, realizar apenas uma medida evitaria dúvidas quanto ao valor ‘correto’.

J0 – Não há necessidade de repetir medidas: o aluno deixa explícito que a coleta de apenas um dado para cada altura é o suficiente, não havendo necessidade de se repetir medidas. Além disso, justifica afirmando que se repetir o processo, obterá sempre o mesmo resultado.

Exemplos:

- “Porque se o experimento for feito de forma adequada, cada altura terá apenas uma distância possível e, todas as vezes que o experimento for repetido eles encontrarão a mesma medida.”

- “Uma medida basta, pois, se soltar a bolinha de uma mesma altura várias vezes, sempre obterá o mesmo resultado de distância.”

J1 – Evitar erros: nessa resposta, pode-se perceber que o estudante sabe que é normal a obtenção de resultados diferentes, mas ele afirma que o experimento deve ser feito com atenção e cuidado, coletando apenas um dado para evitar erros ou diferenças entre os valores.

Exemplos:

- “Pois cada vez que vamos medir a distância o resultado será um pouco diferente (por causa de erro na colocação da esfera etc), então devemos fazer 1 vez bem feito.”
- “Porque para observar se a altura varia em função da distância, basta medir uma vez, porque se for medido mais de uma vez outros fatores podem interferir nos resultados.”

Justificativa para a escolha do comentário do Estudante 2 – Duas medidas

Geralmente, os estudantes que optaram pelo comentário do **Estudante 2** reconhecem a necessidade de se coletar mais dados, mas acreditam que apenas duas medidas sejam suficientes.

J2 – Duas medidas são suficientes: apesar de afirmar que duas medidas são suficiente, o aluno não deixa claro o que faria com os dois dados coletados. Na maioria das vezes, argumentam que uma medida é pouco, mas que cinco são desnecessárias.

Exemplos:

- “Porque não seria necessária mais de duas medidas.”
- “Pois não deve ser realizada apenas 1 medida como o estudante 1 disse, nem são necessárias tantas medidas quanto o estudante 3 disse.”

Justificativas para a escolha do comentário do Estudante 3 – Cinco medidas

Os alunos que optaram pelo comentário do **Estudante 3** reconhecem que cinco medidas seria o mais indicado para a situação, argumentando, inclusive, que a média dos valores obtidos seria mais precisa e os resultados mais assertivos, diminuindo os erros. Porém, em grande parte das justificativas, não está claro a real importância de se repetir a medida várias vezes ou como esses números contribuiriam para a obtenção de resultados mais precisos ou para a diminuição dos erros.

J3 – Obter uma média mais precisa: os alunos afirmavam que com mais dados seria possível a determinação de uma média mais precisa. Porém, não apresentavam indícios de

como e porquê o cálculo da média com mais dados é mais ou menos preciso do que o cálculo efetuado com menor quantidade de dados.

Exemplos:

- “Pois quanto maior o número de medidas, mais preciso será o valor da média dos valores medidos.”
- “Quanto mais medidas você obter, maior precisão a média resultante terá.”

J4 – Obter resultados mais seguros ou precisos: os alunos afirmavam que, com mais dados era possível obter resultados mais precisos ou seguros, porém não apresentavam justificativas do porquê ou de como os dados seriam analisados. As justificativas categorizadas como **J4** distinguem-se das justificativas **J3** por não se referirem à média.

Exemplos:

- “Quanto mais medidas melhor para obtermos uma precisão maior quanto ao resultado.”
- “Pois quanto mais medidas da distância eles fizerem por altura, mas exatidão eles terão no resultado.”

J5 – Diminuir os erros: nessa categoria, percebe-se que os alunos atribuem a necessidade de se coletar mais dados à diminuição dos erros, sem, no entanto, apresentar um motivo para tal.

Exemplos:

- “Porque quando estamos fazendo algum experimento, temos que repetir a mesma coisa várias vezes, com isso nós diminuimos a possibilidade de erros muito graves.”
- “Com mais tentativas diminui as chances de erro da experiência.”

Justificativas para a escolha dos comentários dos Estudantes 2 e 3

As justificativas abaixo estão presentes nas respostas dos alunos que optaram pelos comentários dos **Estudantes 2 e 3**.

J6 – Conferir o resultado: o aluno afirma que é necessária a repetição das medidas para a confirmação ou a conferência do resultado. Além disso, muitas vezes ele diz que os demais resultados serão iguais.

Exemplos:

- “Não era muitos fatores que podem alterar o resultado, mas é sempre bom conferir”.
- “Pois assim irá conferir para ver se o resultado é o mesmo.”

J7 – Calcular a média: o aluno diz claramente que o objetivo de se medir mais vezes uma determinada variável é calcular a média dos valores obtidos. Contudo, não há menção sobre a importância da média ou sobre alguma medida de dispersão dos dados.

Exemplos:

- “Com 5 resultados, pode-se tirar a média das medidas, obtendo uma resposta confiável.”
- “Pois assim teríamos mais dados e poderíamos fazer um média da distância d , achando um resultado mais confiável em cada altura.”

Na tabela 6.16⁹ estão distribuídas as respostas dos alunos em função dos comentários e das categorias de cada comentário. No pré-teste, o aluno que optou pelo comentário do **Estudante 1**, tendeu a justificar sua escolha utilizando as respostas que foram categorizadas como **J0**, ou seja, sem perceber a necessidade de repetir as medidas. Podemos fazer um paralelo entre as categorias acima e os níveis A e B (ver quadro 3.4), identificados por Lubben e Millar (1996), o que indica uma concepção muito restrita do processo de medição. Já no pós-teste, o número de alunos que optou por esse comentário é muito reduzido.

Tabela 6.16 – Categorização das respostas dos estudantes de acordo com o comentário

Comentário	Justificativas	Pré-teste		Pós-teste	
		N	%	N	%
Estudante 1	J0 – Não há necessidade de repetir	21	8,9	1	0,6
	J1 – Evitar erros	3	1,3	1	0,6
	Outras	5	2,1	---	---
	Nenhuma	---	---	1	0,6
	Total	29	12,3	3	1,7
Estudante 2	J2 – Duas medidas são suficientes	8	3,4	5	2,9
	J6 – Conferir o resultado	11	4,7	3	1,7
	J7 – Calcular a média	1	0,4	1	0,6
	Outras	7	3,0	1	0,6
	Total	27	11,5	10	5,8
Estudante 3	J7 – Calcular a média	65	27,7	45	26,0

⁹ Não representamos a tabela 6.16 como dupla entrada para não dificultar a sua interpretação. Porém, comparações entre os testes pode ser feita com o auxílio da tabela 6.15.

J3 – Obter média mais precisa	12	5,1	23	13,3
J4 – Obter resultados mais precisos	48	20,4	28	16,2
J5 – Diminuir os erros	13	5,5	30	17,3
J6 – Conferir o resultado	8	3,4	---	---
Outras	32	13,6	31	17,9
Nenhuma	1	0,4	3	1,7
Total	179	76,1	160	92,5
Totais gerais	235	100	173	100

Os alunos que optaram pelo comentário do **Estudante 2**, tanto no pré-teste, quanto no pós-teste, tiveram a maioria das justificativas classificadas como **J6** ou **J2**. Os alunos que optaram pelos comentários dos **Estudantes 1 e 2** revelam indícios de ‘pensamento por ponto’, proposto por Allie e colaboradores (1998).

A tabela 6.16, assim como a tabela 6.15, nos mostra que no pós-teste, há uma diminuição significativa dos alunos que optaram pelos comentários dos **Estudantes 1 e 2**, indicando uma relativa sofisticação nas concepções sobre o processo de medição. Entretanto, pela análise das justificativas dos alunos que optaram pelo comentário do **Estudante 3**, tanto no pré-teste quanto no pós-teste, percebemos que não houve o real entendimento sobre a necessidade de se repetir as medidas. A ocorrência das categorias **J7** e **J3** revela que os alunos aprenderam operacionalmente sobre a necessidade de se coletar mais dados e efetuar o cálculo da média. Porém, em nenhuma resposta do conjunto de dados, percebemos uma concepção abrangente sobre a importância do cálculo da média e a utilização de alguma medida de dispersão dos dados para se avaliar os resultados. A premissa apresentada na categoria **J3** - com mais dados pode-se obter uma média mais precisa - nem sempre é verdadeira. Se os dados adicionais não forem coletados com os mesmos cuidados e a mesma qualidade dos demais, pouco acrescentarão. No entanto, o comentário procede com base na suposição de que não há erros sistemáticos, apenas erros aleatórios. Raramente, no laboratório, os estudantes fazem atividades envolvendo erros sistemáticos ou erros deliberados de procedimento. Assim, há uma suposição implícita de que apenas os erros aleatórios estão presentes nas atividades que os alunos realizam.

Ao examinar as atividades realizadas ao longo do ano, percebemos que, na maioria das vezes, os alunos tiveram que calcular a média de alguns valores. Além disso, o número de cinco medidas parece ser um “número mágico” no laboratório, ou um número padrão, pois é utilizado em muitas atividades. Por isso, parece fácil para os alunos aprender que é necessária

essa quantidade de dados e, por repetição, aprendem que, após coletarem os dados, devem calcular a média. Isso justifica a importância exagerada que os alunos atribuem à média. Porém, os alunos não compreendem bem o que realmente significa a média dos valores obtidos, nem o que ela representa. Exemplos:

- “Fazer várias vezes o experimento e tirando a média dos valores elimina erros de medida.”
- “Os estudantes devem coletar mais dados e tirar a média. Assim os erros são eliminados.”

Nas entrevistas percebemos que grande parte dos estudantes sabe que deve repetir as medições um certo número de vezes, o que sob certas condições leva, conseqüentemente, a um resultado melhor. Porém, desconhecem as razões disso. Os três trechos a seguir, extraídos de entrevistas realizadas com grupos de alunos em uma atividade que envolvia o lançamento de projéteis, abordam o assunto:

P- “O aluno A2 sugeriu que fizéssemos 5 medidas. E se alguém se propusesse a fazer 15 medidas?”

A2- “A precisão ia ser maior.”

A6- “Um resultado mais confiável.”

P- “São sinônimos? Resultado mais preciso e confiável?”

A6- “Eu não sei explicar, mas acho que são.”

A1- “Quando se tem uma coisa mais precisa, conseqüentemente é uma coisa mais confiável. Se é uma coisa mais precisa, é uma coisa mais próxima do que aconteceu.”

A2- “Com mais dados, o resultado vai ser muito mais próximo do real.”

A3- “Porque é mais preciso. A média vai estar mais de acordo com a realidade.”

Vemos que os estudantes acreditam que um maior número de medidas leva a resultados mais precisos e confiáveis, mas não sabem articular as razões para isso.

P- “Se eu perguntasse para vocês, qual a distância percorrida pela esfera? Como vocês me responderiam?”

A3- “Tirava uma média desses dados.”

A2- “Faria outras medidas para garantir.”

P- “Garantir o que?”

A3- “Uma precisão maior.”

A2- “Para a média ficar mais detalhada.”

P- “Vocês acham que quanto maior o número de dados melhor?”

A1- “Fica mais próximo do real.”

P- “Quantos dados vocês coletariam?”

A1- “10 medidas.”

P- “Vocês então fariam 10 medidas e depois, o que fariam com essas medidas?”

A2- “Tirava a média.”

P- “O que representa a média?”

A2- “Um valor em comum entre todas.”

A1- “Um valor que vai se aproximar de todas.”

P- “Por que vocês calculam a média?”

A3- “Porque se eu pegar um valor será aleatório. Se eu pegar a média, estou pegando um valor comum a todos.”

A2- “Porque a gente não considera o erro. Se a gente fizer só uma tentativa, você parte do pressuposto que essa tentativa está certa. Se fizer várias e receber resultados diferentes, você começa a considerar a possibilidade de erros.”

P- “Mas então seria melhor fazer apenas uma medida. Assim o experimento não teria erro.”

A1- “Erro vai ter.”

A2- “Não é que fazendo apenas uma vez não vai ter erro, você não vai saber qual o erro.”

A3- “Não vai ter um valor para comparar.”

Podemos observar que os estudantes **A1** e **A2** não conseguem articular uma resposta satisfatória sobre o que representa a média de um conjunto de dados. Os três estudantes reconhecem a possibilidade de erros durante a experimentação. Os estudantes **A2** e **A3** apresentam indícios que compreendem que, dado um conjunto de medidas, é possível efetuar comparações para estabelecer a qualidade dos dados e calcular um parâmetro indicador do “erro” existente.

P- “Se eu perguntasse para vocês, qual a distância percorrida pela esfera? Como vocês me responderiam?”

A1- “Faria muitos lançamentos e tiraria a média.”

P- “Muitos lançamentos? Quantos?”

A2- “Cinco.”

A3- “Quanto mais, melhor.”

A4- “Duzentos e cinquenta.”

P- “Porque quanto mais lançamentos é melhor?”

A3- “Porque a média fica mais exata. Dá para ver os valores máximos e mínimos.”

A4- “Porque vai ter a repetição de um monte de resultado.”

P- “É bom ter a repetição dos resultados?”

A4- “É bom. Porque o seu resultado final vai se aproximar disso.”

P- “Mas o que é a média de um conjunto de medidas?”

A5- “É a soma das medidas, dividida pelo número de medidas”.

P- “Essa é a definição matemática. Mas o que representa a média?”

A2- “O valor mais preciso da medida. O valor que mais representa a medida.”

P- “Qual a diferença entre a média com cinco medidas e com duzentas e cinquenta?”

A3- “A média com duzentos e cinquenta é mais precisa.”

P- “E em relação ao erro?”

A6- “Quanto mais medidas, bem maior o erro, pois cada medida tem um errinho.”

Esse trecho mostra, novamente, que os alunos percebem que é melhor coletar o maior número de medidas possíveis, mas não conseguem articular as razões para isso. Muitos alunos – como o estudante **A4** – defendem que é para se obter vários valores repetidos e outros – como o estudante **A3** – acreditam que a média ficaria mais exata ou precisa.

Quando começam a realizar atividades práticas, os estudantes entram em contato com diversas fontes de erro. Porém, eles não conseguem distingui-las, nem denominá-las corretamente, o que resulta em compreensões incorretas, como a da estudante **A6**, no trecho acima. As respostas categorizadas como **J5** indicam justamente que os alunos consideram erros de medida, erros de procedimentos e interferência de fatores externos, entre outros, como ‘erros’. Tal concepção prejudica a compreensão correta do significado da média, já que seu cálculo elimina apenas os erros aleatórios de medida, mas não elimina a influência de outros fatores, erros sistemáticos ou falhas na execução da atividade.

A elevada percentagem da categoria **J4** também pode indicar algo semelhante. As respostas para essa categoria, como vimos nos exemplos, são vagas e podem ser interpretadas de diversas maneiras. O aumento da precisão e a obtenção de resultados melhores é atribuído a um posterior cálculo para a média (categoria **J3**) ou os dados subsequentes são melhores do que os anteriores uma vez que os alunos estariam adquirindo prática? (semelhante ao nível C de Lubben e Millar (1996)). Veja os exemplos abaixo:

- “Em um experimento o melhor é coletar o maior número de dados possíveis para que se chegue a uma medida próxima da exatidão”.

- “Quanto mais vezes você repete o experimento, mais você aproxima do resultado certo”.

Devido à grande ambigüidade, essas respostas não foram categorizadas como **J3** e podem indicar concepções incorretas sobre o processo de medição. Os alunos parecem acreditar que existe um valor ‘correto’ para a grandeza medida e que ele pode ser obtido por meio do cálculo da média ou tomando-se o valor mais freqüente. Identificamos também respostas coerentes com o nível D, ou seja, deve-se coletar mais dados e escolher aquele que mais se repetiu. Exemplos:

- “Eles devem fazer as 5 medidas e pegar aquela que mais aparece.”
- “É bom eles repetirem mais vezes para ver se a medida vai se repetir.”

Dessa forma, a escolha do comentário do **Estudante 3** não implica, necessariamente, que o aluno compreenda a necessidade e a razão de se coletar mais dados durante um experimento, bem como o que se fazer com os dados coletados. Entrevistas realizadas, no início e no final do ano letivo, exemplificam isso:

P- “O que significa a média? Qual a sua importância?”

A1- “Para você tirar a chance de erro.”

A3- “Porque existem os erros de medida e se calcula a média para ficar mais preciso.”

A2- “Porque toda medida tem um erro de medida. Fazendo mais medidas tira-se a média, que vai ser o valor mais representativo.”

P- “Por que precisa medir mais vezes?”

A3- “Você diminui os erros de medida.”

A1- “É muito difícil ser 100% igual. As medidas variam.”

A2- “Com mais medidas, a média é mais exata. A precisão vai ser maior.”

P- “Da onde vem essa precisão?”

A1- “A precisão é melhor porque se mede mais vezes.”

A2- “Não sei te explicar.”

Também nesse trecho, vemos que os estudantes reconhecem a necessidade de se coletar várias medidas e calcular a média, mas, novamente, desconhecem o real significado da média e o porquê de se coletar várias medidas.

Da mesma forma, o trabalho de Allie e colaboradores (1998) demonstrou que muitos estudantes sugerem que vários dados devem ser coletados, porém não compreendem as razões

para isso. Muitos afirmam, assim como os estudantes da nossa pesquisa, que a razão é obter ou calcular a média, sem explicitar, no entanto, qual o benefício desse cálculo para a análise dos dados. A passagem abaixo, gravada durante a realização da última atividade no laboratório, ilustra bem isso:

P- “Por que nós repetimos as medidas quando realizamos as práticas?”

A1- “Para eliminar os erros. As medidas que fazemos tem diferenças.”

P- “Por que existe essa diferença?”

A1- “Porque nunca vai ser exato.”

P- “Por quê?”

A1- “Sei lá!”

A2- “É mesmo! Por que dá essa diferença? A gente sabe que dá essa diferença por isso a gente precisa de mais dados.”

P- “Mas nem com um instrumento muito preciso?”

A2- “Mesmo se o instrumento for bom, sempre haverá erros de medida.”

P- “E por que precisa de mais medidas?”

A2- “Quanto mais vezes você fizer mais chance você terá de fazer a média.”

P- “O que representa a média? O que ela pode te indicar?”

A2- “A média das medidas. Quando você tira a média, você quer saber mais ou menos uma proporção básica, o que tem em comum a todos.”

A1- “Ah... é muito difícil explicar isso, por isso não vou fazer física.”

Rollnick e colaboradores (2001) também obtiveram resultados semelhantes. Através de um questionário, eles investigaram as concepções de estudantes universitários sul-africanos sobre as razões de se repetir as medidas realizadas durante um experimento. A maioria dos participantes pôde ser dividida em três grupos, cujas razões para se repetir os experimentos são: a obtenção de valores recorrentes (nível D); a prática (nível C) e o cálculo da média (nível F). Além desses grupos, 9% dos estudantes responderam que não é necessária a repetição das medidas (níveis A e B). Apesar de 18% dos estudantes responderem que a razão da coleta de mais dados seria para possibilitar o cálculo da média, o desempenho desses alunos em outras questões revela que eles consideram o cálculo da média como mero exercício matemático, não atribuindo a ela uma medida de tendência central ou relacionando-a à dispersão dos dados, conforme identificado por Séré, Journeaux e Larcher (1993). Discutiremos mais sobre essa questão na seção seguinte.

6.3 Conceito de evidência: reprodutibilidade dos dados

Estudamos as concepções dos alunos sobre a reprodutibilidade dos dados durante a realização de uma atividade experimental. Para isso, analisamos as respostas fornecidas pelos estudantes participantes para o **item (ii)** da **Questão 3** do questionário **CE – 1** e para a **Questão 1** do questionário **CE – 2** (figuras 5.4 e 5.5, respectivamente).

Na seção anterior, vimos que a maioria dos estudantes reconhece a necessidade de se repetir medidas, porém, as justificativas parecem não ser claras para boa parte desses alunos. Muitos repetem a coleta de dados porque o roteiro solicita ou porque já incorporou tal prática como uma rotina de laboratório. Mas, quais as reações dos estudantes ao obterem medidas diferentes entre sucessivas coletas de dados? A maioria das medições, quando repetidas sistematicamente, produzem valores distintos. Para se analisar os resultados é preciso uma compreensão sobre os limites desses valores e a determinação de um intervalo de confiança, ou seja, uma medida da dispersão dos dados e sobre as causas dessa variabilidade. A interpretação dos resultados depende, portanto, não apenas do valor médio e do cálculo do intervalo de confiança, mas também de considerações sobre as possíveis fontes de erros e perturbações provocadas no sistema.

Assim, a questão sobre a reprodutibilidade dos dados envolve, ao mesmo tempo, vários conceitos. Para explorarmos melhor esse conceito de evidência, dividimos a análise de forma a facilitar a compreensão do pensamento dos estudantes sobre essa questão.

6.3.1 Razões para obtenção de resultados diversos

O **item (ii)** da **Questão 3** (figura 5.4) diz que um grupo de alunos obteve 67,4 cm como resultado do primeiro experimento e resolvem repetir a atividade. Foi perguntado, então, aos participantes que valor que o grupo de estudantes obteria. Pela análise das respostas, tivemos, basicamente, dois tipos distintos de respostas:

- **Mesmo valor:** o aluno diz que o resultado obtido será rigorosamente igual ao anterior. Para esses alunos, a obtenção do mesmo valor indica que o experimento foi realizado corretamente e, pela mesma lógica, a obtenção de valores distintos é indicativo de erro nos procedimentos.

Exemplos:

- “Eu espero que a distância não se altere porque a física é exata. Se mudar é porque alguma coisa deve ter sido feita errada.”
- “O mesmo valor deve ser obtido, pois assim saberemos se eles estão fazendo corretamente o procedimento.”

- **Valor próximo:** o aluno afirma que o resultado será próximo ao primeiro valor obtido.

Exemplos:

- “Eu espero que eles obtenham um valor diferente de (67,4 cm), porque sempre ocorre um erro de medida.”
- “Um valor próximo a 67, 4 cm, por ser o valor encontrado em sua primeira marcação e porque normalmente não se consegue um mesmo valor.”

No pré-teste, dos 238 estudantes, 172 (72,2%) afirmaram que o grupo obterá um valor próximo ao anterior. Outros 38 estudantes (16,0%) afirmaram que o valor seria idêntico ao que foi previamente obtido. No pós-teste, dos 173 estudantes, 155 (89,6%) afirmaram que o valor seria próximo ao primeiro dado, enquanto apenas 10 (5,8%) acreditam que o grupo obterá um valor idêntico ao primeiro.

Ao compararmos os resultados, verificamos que não houve diferenças significativas – $MH(158) = 0,866, p = 0,472$. Dos 158 estudantes que responderam à questão nos dois testes, 115 responderam corretamente em ambos. Dos 43 estudantes restantes, 29 (67,4%) responderam corretamente no pós-teste (tabela 6.17).

Tabela 6.17 – Comparação dos resultados dos testes – Resultados diversos

Respostas		Pós-teste			Total
		Valor próximo	Mesmo valor	Outras	
Pré-teste	Valor próximo	115	3	4	122
	Mesmo valor	20	3	0	23
	Outras	9	3	1	13
Total		144	9	5	158

Procuramos identificar se há uma relação entre a escolha do comentário no **item (i)** – seção 6.2 – e a justificativa dos alunos para o item. Nesse caso, consideramos apenas os resultados do pós-teste. A tabela 6.18 representa essa relação. Percebemos que os alunos, que optaram pelo comentário do **Estudante 3** no **item (i)** da questão, tenderam a responder que o próximo dado coletado seria parecido, mas não igual ao anterior. Porém, alguns dados da tabela 6.18 reforçam as inferências feitas no item anterior sobre as concepções fragmentadas dos estudantes sobre a irreprodutibilidade dos dados e a conseqüente necessidade de repetição das medições em uma atividade experimental. Algumas células da tabela apresentam

incoerências conceituais. Se o aluno concorda com o comentário do **Estudante 1** (apenas uma medição), era de se esperar que o mesmo acreditasse que o próximo resultado seria idêntico ao primeiro. Ao mesmo tempo, o aluno que concorda com o comentário do **Estudante 3** (cinco medições), não poderia esperar que o próximo resultado fosse idêntico ao primeiro. Assim, além de mostrar a forte relação entre os dois itens analisados, os dados da tabela também contribuem para demonstrar que o conhecimento de alguns estudantes sobre o processo de medição, ao final do ano letivo, ainda é fragmentado e não integrado num sistema conceitual coeso, como discutiremos oportunamente.

Tabela 6.18 – Relação entre o tamanho da amostra e a irreprodutibilidade dos dados

Categoria	Estudante 1	Estudante 2	Estudante 3	Totais
Mesmo valor	1	0	9	10
Próximo	2	10	143	155
Totais	3	10	152	165

No **item (iii)** da questão, afirmamos que ao repetir a coleta de dados, o mesmo grupo de estudantes obteve um valor de 66,8 cm. Em seguida, solicitamos aos estudantes que comentassem sobre o resultado obtido pelo grupo.

A análise das respostas dos estudantes nos permitiu classificá-las em seis categorias:

T1 – Resultado normal: para esses alunos, o resultado foi dentro do esperado já que não se diferenciou muito do anterior. Em muitos casos, os alunos reconhecem a ocorrência de erros, justificando a variação do valor.

Exemplos:

- “É um número próximo de 67 cm, porém variações podem ocorrer, o atrito da esfera pode ter sido maior, existem muitas hipóteses para que o resultado encontrado seja este.”
- “Pelo menos para mim, o resultado era esperado, pois qualquer procedimento realizado novamente está sujeito a variações, pois sempre ocorrem modificações, nunca são idênticos.”

T2 – Erros experimentais ou de medida: o estudante afirma que algum tipo de erro aconteceu, seja ele de medida, experimental ou procedimental. Porém, não fica claro se o aluno considera o resultado normal ou não.

Exemplos:

- “Algo pode ter dado errado, talvez a altura tenha sido medida errado ou os alunos não souberam usar a fita métrica direito.”

- “Acho que eles soltaram a bola do valor de 15 cm, por isso a bola percorreu menos centímetros que a outra.”

T3 – Resultado anômalo: essa categoria abrange os estudantes que responderam explicitamente que o resultado obtido deveria ser idêntico ao anterior. Eles afirmam que o experimento foi realizado em condições idênticas e que não há erros.

Exemplos:

- “Na minha opinião fiquei um pouco confusa pois se a altura é a mesma, porque deu um valor diferente?”
- Por soltarem na mesma altura, o resultado deveria ser o mesmo, já que não variou a altura.”

T4 – Variações devido à fatores externos: os alunos atribuíram a fatores externos como resistência do ar, atrito e outros, as causas da variação ocorrida. Também não fica claro se os estudantes consideram a variação normal, mas pode-se dizer que eles não atribuem a diferença a erros de medida.

Exemplos:

- “Provavelmente algum fator como atrito atrapalhou na nova experiência.”
- “Pode ter havido algum impulso ou influência do meio como vento, respiração, pressão etc.”

T5 – O resultado é diferente: essas são as respostas que consideram o segundo resultado bem diferente do primeiro. Para esses alunos, há diferença entre os resultados e, implícita ou explicitamente, eles indicam que houve algum erro de procedimento.

Exemplos:

- “Os estudantes se enganaram ao repetir os experimentos, pois os resultados foram bem distintos.”
- “É possível concluir que uma das medidas está incorreta, pois a margem de uma para outra foi muito grande.”

T6 – Dados insuficientes: o estudante diz que apenas dois dados não são suficientes para afirmar sobre a similaridade/disparidade entre os resultados, sendo portanto, necessária a obtenção de mais valores.

Exemplos

- “Não sabemos se o primeiro ou o segundo está mais certo seria necessário mais marcações.”
- “Esse resultado mostra que há uma ‘margem de erro’ e que eles devem fazer mais experimentos”.

Inicialmente, é interessante discutirmos a ocorrência da categoria **T5**, na qual os estudantes afirmam que o resultado obtido é significativamente diferente do anterior. A diferença entre os valores é de apenas 0,6 cm ou aproximadamente 1%. Alguns alunos afirmaram que só o algarismo avaliado poderia variar e, se algum outro variasse, o resultado seria diferente.

A tabela 6.19¹⁰ apresenta a distribuição das respostas dos estudantes de acordo com a categorização criada. Percebemos que não há diferenças significativas entre o desempenho dos estudantes no pré-teste e no pós-teste. Se considerarmos que apenas as respostas categorizadas como **T1** e **T6** deixam claro que não havia grandes diferenças nos valores ou que não se poderia afirmar nada, e que, juntas somam cerca de 55% no pós-teste, grande parte dos estudantes, mesmo tendo respondido no item anterior que o resultado esperado deveria ser próximo do primeiro, teve problemas para avaliar e justificar o novo resultado.

De qualquer forma, a presença da categoria **T6** foi uma boa surpresa. Tais respostas demonstraram certa sofisticação no raciocínio ao responderem, adequadamente, que não poderiam afirmar nada sobre a questão, já que seria necessário coletar mais dados para poder avaliar os resultados.

Tabela 6.19 – Categorização das respostas dos estudantes

Categoria	Pré-teste		Pós-teste	
	N	%	N	%
T1	103	45,4	87	50,9
T2	65	28,6	52	30,4
T3	9	4,0	---	--
T4	15	6,6	7	4,1
T5	11	4,8	12	7,0
T6	2	0,9	6	3,5
Outras	22	9,7	7	4,1
Totais	227	100	171	100

Opções sombreadas são as respostas mais sofisticadas.

Outro aspecto que podemos extrair da tabela 6.19, é que os estudantes não apresentam dificuldades para reconhecer que existem algumas fontes de erros durante o processo de

¹⁰ Novamente, a tabela 6.19 também não é exibida na forma de dupla entrada para facilitar a leitura dos dados. Comparações mais eficientes entre os testes podem ser feitas com o auxílio da tabela 6.17.

medição que influenciam o resultado (categorias **T2** e **T5**). Mesmo para os que consideraram o resultado normal (**T1**), suas justificativas continham alusões às fontes de possíveis variações para os resultados. Porém, mesmo reconhecendo a existência de erros ou fatores que poderiam influenciar nos resultados, os alunos demonstraram dificuldades em avaliar se a variação obtida poderia ou não ser fruto desses erros. Além disso, como foi abordado no item anterior, percebe-se certa confusão dos alunos ao se referirem aos erros, demonstrando que eles não possuem ainda um bom entendimento sobre os possíveis tipos de erros que podem ocorrer num experimento.

Masnick e Klahr (2003) propõem uma taxonomia para caracterizar os diversos tipos de erros envolvidos no processo de resolução de uma atividade prática. Segundo os autores, o processo de experimentação pode ser dividido em cinco etapas: planejamento (a escolha das variáveis a serem testadas), configuração (a preparação física do experimento), execução (a realização do experimento), medição (obtenção dos dados) e análise (obtenção de conclusões). São vários e distintos os tipos de erros que podem ocorrer:

- **Erros no planejamento** – São erros sistemáticos decorrentes das decisões sobre quais os fatores deverão variar e quais serão controlados. Tais decisões são influenciadas pelo conhecimento conceitual do indivíduo sobre o domínio teórico e pelo entendimento sobre os objetivos da atividade. Os erros que ocorrem nessa etapa são decorrentes da falta de controle sobre algumas variáveis causais que influenciam no resultado do experimento. Esses erros acontecem devido a uma má compreensão da lógica do controle de variáveis, ao desconhecimento do domínio teórico ou ao uso, deliberado ou não, de modelos simplificados para representar a situação experimental.

- **Erros de medida** – Esses erros podem ocorrer tanto durante a etapa de configuração quanto na etapa de medição. Na etapa de configuração, os erros estão associados à escolha, preparação e calibração dos instrumentos de medida, enquanto que, na etapa de medição, estão associados com a utilização e a operação dos instrumentos.

- **Erros de execução** – Ocorrem quando algo não previsto ou não planejado nas etapas anteriores acontece. Esses erros podem ser aleatórios ou sistemáticos e, ainda observáveis ou não-observáveis.

- **Erros de interpretação** – Apesar de ocorrer na etapa final (análise), os erros de interpretação podem ser conseqüências de outros erros ocorridos nas fases anteriores. Assim, qualquer erro não detectado nas fases precedentes pode ser propagado até o final da

atividade. Além disso, erros de interpretação podem ocorrer, uma vez que as conclusões são obtidas a partir da análise dos dados e do conhecimento conceitual que o indivíduo utiliza para modelar a situação.

Quando os estudantes começam a ter contato com as práticas de laboratório, é normal que eles atribuam quaisquer variações nos resultados a erros. Porém, muitos alunos (isso pode ser percebido pelas respostas) não compreendem bem, por exemplo, a diferença entre erros sistemáticos e aleatórios ou erros devido a fatores externos etc. Outra dificuldade dos alunos é quantificar a influência desses fatores e dos erros presentes no experimento. Tal habilidade é fundamental e será melhor explorada posteriormente.

A análise das respostas dos estudantes e as entrevistas realizadas durante as atividades e com pequenos grupos em encontros após as aulas, revelam que poucos alunos entendem bem as suposições sobre os tipos de erros e a irreprodutibilidade dos fenômenos físicos (de que é impossível repetir um experimento exatamente nas mesmas condições do anterior). Sendo assim, as variações nos valores medidos não devem ser atribuídas apenas a erros de medida ou na execução.

Durante as entrevistas, foi perguntado aos estudantes porque que, num experimento, os valores medidos raramente coincidem. Destacamos apenas algumas respostas de diferentes alunos:

- “Por que existem os erros acidentais de medida, os quais nos impedem de encontrar exatamente o mesmo valor.”
- “Isso ocorre porque nenhum instrumento de medida é preciso, e podemos nos confundir ao olhar o objeto.”
- “Porque vai depender muito do tempo de reação de cada pessoa que é diferente e também varia devido aos erros de medida que são comuns”.
- “Porque constantemente ocorrem erros, sejam eles de medida ou ao realizar o procedimento.”

As repostas acima enfatizam que a pouca probabilidade de se obter valores iguais para as medidas é atribuída apenas a erros de medidas ou erros de execução. De certa forma, alguns alunos revelaram possuir uma concepção sobre a irreprodutibilidade dos fenômenos físicos, justificando de outra maneira a variação das medidas obtidas durante a atividade experimental:

- “Como na maioria dos experimentos também atuam outros fatores, muito dificilmente se obterá os mesmos resultados.”
- “Porque existem uma série de fatores que atuam sobre um experimento, como é o caso do atrito, do vento etc.”

- “Porque todo experimento envolve uma série de fatores que não dependem de quem está observando o experimento. Com a variação desses fatores, são obtidos resultados diferentes.”

Nas entrevistas em grupo, contextualizadas através da atividade de lançamento de projétil, alguns alunos não tiveram dificuldades para elencar algumas condições que interferiam nos resultados. Abaixo, estão transcritos dois trechos, com dois grupos diferentes, que abordam as razões para a variação nos resultados.

P- Se eu lançar a esfera novamente, o que vocês acham que vai acontecer?

A1- “Vai cair próximo.”

A2- “Vai cair próximo, mas não vai cair no mesmo lugar.”

P- “Por quê?”

A2- “Erros no equipamento.”

A1- “Resistência do ar, o vento pode estar diferente.”

A3- “A variação vai ser pequena.”

A2- “O que mais vai mudar vai ser o aparelho mesmo.”

P- “Não era para a esfera ter caído no mesmo lugar?”

A1- “Teoricamente sim...”

A2- “Uai, foram as mesmas condições, mesmo ângulo, tudo igual.”

P- “E por que a esfera não caiu no mesmo lugar?”

A2- “Por causa da resistência do ar.”

A3- “A energia da mola da primeira vez pode ter sido diferente da segunda.”

A2- “Por causa de variações na mola.”

Nas duas passagens fica claro que os estudantes percebem que, em teoria, ou seja, se todas as condições permanecessem idênticas, a esfera cairia no mesmo lugar. Porém, como isso dificilmente ocorre, a esfera cairá em um lugar próximo, mas diferente do primeiro. Além disso, os alunos conseguem atribuir fatores responsáveis pelas variações obtidas.

O domínio dessa concepção é importante para que o estudante possa entender e avaliar as variações que podem ocorrer num experimento para que ele possa, por exemplo, distinguir se a variação é causada por fatores associados aos experimentos, a qualquer tipo de erro em qualquer fase da atividade ou se é devido às relações causais entre as grandezas físicas envolvidas.

6.4 Conceitos de evidência: validade e confiabilidade

Nessa seção, exploramos como os estudantes analisam dados previamente coletados. Para que essa análise tenha sucesso, segundo Gott e Duggan (2003), o estudante deve possuir conhecimentos ligados aos conceitos de evidência relacionados à validade e à confiabilidade. Ou seja, os dados coletados são confiáveis? Posso responder à questão proposta com os dados? A atividade foi corretamente executada? As medidas foram bem realizadas? Quais fatores interferiram nos resultados? Por que houve variação nos resultados? Qual a intensidade dessa variação? Como meus dados suportam minhas inferências? Para vermos como os estudantes responderam a algumas dessas questões, analisaremos quatro questões dos questionários aplicados.

6.4.1 Média: representação de um conjunto de dados

Ao realizar uma atividade prática, o estudante precisa, inicialmente, definir quais as variáveis devem ser observadas e medidas, possuir habilidades básicas para lidar com os instrumentos de medida, definir quais e quantos dados serão coletados e a estratégia mais adequada para coletá-los. Após os dados serem coletados, eles devem ser analisados. O primeiro passo para a análise dos dados, quando necessário, é o cálculo da média.

Na **Questão 1** do Questionário **CE-1** (Figura 5.5) foram apresentados os dados em uma tabela de uma atividade no laboratório de Física realizada por um grupo de alunos que mediu o tempo que uma esfera gasta para percorrer uma rampa. Em seguida, era solicitado que o aluno escrevesse qual o valor que melhor representa o tempo que a esfera gasta para percorrer a rampa e apresentasse uma justificativa. Nessa questão, desejávamos saber se os estudantes percebiam a importância da média na representação de um conjunto de medidas. A média dos dados da questão é 1,4 segundos. Esse valor não aparece na tabela propositadamente.

Analisando o conjunto de respostas dos alunos identificamos três categorias de respostas recorrentes:

M1 – Média. Os estudantes responderam que o valor que melhor representava o conjunto de dados é a média. Na maioria dos casos, eles calcularam a média.

Exemplos:

- “O melhor resultado é 1,4s já que este resultado representa a média dos outros”
- “O melhor número é 1,4, pois representa a média de todos os números que apareceram.”

M2 – O valor da tabela que mais se repetiu. Nesse tipo de resposta, o estudante afirma que o valor que melhor representa o conjunto de dados é a moda do conjunto, ou seja, o valor que mais se repete. Neste caso, eles afirmaram que o valor seria 1,5 segundos.

Exemplo:

- “Eu acho que o valor que melhor corresponde esse tempo é 1,5s pois ele aparece mais de uma vez na tabela.”
- “O valor de número 1,5. Pois por ser a mesma esfera e uma mesma altura, esse valor se repete frequentemente, representando melhor o tempo para que a esfera percorra a rampa.”

M3 – Calcula a média e escolhe outro valor. Alguns alunos calcularam a média e, após o cálculo, escolheram o valor presente na tabela que mais se aproximasse do valor calculado.

Nesse caso, os valores escolhidos foram 1,3 e/ou 1,5 segundos.

- “O valor mais próximo da média entre os resultados, pois assim, as chances de erro de medida diminuem. A média é 1,4s, portanto, 1,5s.”
- “Seria 1,3 ou 1,5. Pois tirando a média o resultado seria 1,4 e estes são os que mais se aproximam.”

As categorias aqui desenvolvidas relacionam-se com os paradigmas propostos por Allie e colaboradores (1998). Podemos associar nossa categoria **M1** ao pensamento por conjunto, pois o estudante reconhece a necessidade de se calcular a média dos valores do conjunto. A categoria **M2** pode ser caracterizada segundo o pensamento por ponto, pois o estudante observa individualmente os pontos da tabela. Já a categoria **M3** pode ser indício de uma transição entre os paradigmas, pois o estudante calcula a média, ou seja, reconhece que os dados devem ser analisados em conjunto, mas escolhe um ponto do conjunto. Ela pode indicar também o entendimento equivocado da questão. O estudante que escolhe M3 pode ter entendido que era solicitado que ele escolhesse qual dentre aqueles valores tabelados melhor representa a medida.

No pré-teste, 238 estudantes responderam à questão. Desses, mais da metade (51,2%) tiveram suas respostas categorizadas como **M1**, reconhecendo a importância do cálculo da média para representar um conjunto de dados. Outros 89 estudantes (37,4%) tiveram suas

respostas categorizadas como **M2**. É importante ressaltar que quando os alunos realizaram o pré-teste, eles já haviam feito três aulas de laboratório e já haviam discutido em sala de aula questões sobre média, erros aleatórios, sistemáticos, absoluto e relativo. Porém, mesmo após essa discussão, quase a metade dos estudantes ainda não compreendia o significado da média de um conjunto de dados.

No pós-teste, a questão foi respondida por 173 estudantes. Houve uma elevação da percentagem de alunos que tiveram suas respostas categorizadas como **M1** (65,7%) e a diminuição da categoria **M2** (21,4%).

Para compararmos melhor os resultados dos testes, apresentamos os dados da tabela 6.20. Dos 166 estudantes que realizaram os dois testes, 70 responderam corretamente nos dois testes. Dos 96 estudantes restantes, 41 (42,7%) sofisticaram suas respostas no pós-teste, o que representou uma diferença significativa entre os resultados dos testes – $MH(166) = 2,006$, $p = 0,053$.

Tabela 6.20 – Comparação dos resultados dos testes – Média

Categoria	Pós-teste				Total	
	M1	M2	M3	Outras		
Pré-teste	M1	70	11	4	2	87
	M2	32	19	6	3	60
	M3	4	4	3	0	11
	Outras	5	2	0	1	8
Total	111	36	13	6	166	

Assim, cerca de 66% dos estudantes chegaram ao final do primeiro ano do ensino médio com uma compreensão adequada de que a média é o valor que melhor representa um conjunto de dados coletados em uma atividade experimental. Consideramos esse valor satisfatório. Em 10 atividades realizadas ao longo do ano letivo havia a necessidade de se calcular a média. Portanto, foi uma idéia trabalhada repetidamente no laboratório, embora o tema só tenha sido abordado como conteúdo de ensino na primeira semana do ano letivo.

Nas entrevistas realizadas com os estudantes, sempre abordamos o assunto:

P- “Por que ao invés de fazer apenas uma medida, se faz normalmente um conjunto de medidas?”

A1- “Porque sempre tem erro de medida.”

P- “E qual a diferença de se medir uma vez e várias vezes?”

A2- “Porque diminuem os erros.”

P- “E o que normalmente se faz com o conjunto de medidas?”

A1 e A2- “Calcula a média?”

P- “E o que representa a média?”

A1- “É o valor mais aproximado, um valor que resume o conjunto.”

P- “Se eu perguntasse para vocês, qual o alcance da esfera? Como vocês me responderiam?”

A1- “Faria a média das medidas.”

P- O que é a média?

A4 e A2- “É a soma das medidas dividida pelo tanto de medida feita.”

P- “Qual o significado da média? Por que se calcula a média?”

A4- “Para diminuir os erros de medida.”

A5- “Para achar um valor próximo do real.”

Percebe-se que a maioria dos estudantes aprendeu que, após efetuarem algumas medidas, é necessário calcular a média dos valores obtidos. Porém, poucos estudantes conseguiram articular respostas satisfatórias sobre o real significado da média e sua importância.

Normalmente perguntamos aos estudantes: “Em várias atividades no laboratório, você determinou a média de um conjunto de valores. O que representa a média? O que ela significa? Por que é importante calculá-la?” Em resposta às perguntas, os estudantes afirmaram:

- “A média é um resultado intermediário dos resultados obtidos.”
- “Ela representa o valor mais apropriado de uma medição e é importante para tornar os resultados mais precisos.”
- “É importante calcular a média, pois ela elimina os erros de medida.”

As respostas acima indicam, assim como os resultados da tabela 6.20, que a maioria dos estudantes reconhece a necessidade de se calcular a média dos valores obtidos. Porém, as respostas acima, semelhantes à da grande maioria, também indicam que boa parte dos estudantes não compreende bem a importância do cálculo da média¹¹. Muitos argumentam que o cálculo da média elimina os erros sem distinção, outros, dão respostas superficiais. Alguns apresentaram respostas mais sofisticadas em relação à importância do valor médio:

¹¹ Também podemos ver isso através dos trechos transcritos das atividades na seção 6.2

- “Representa um valor que se procura, mas que devido aos erros de medida não conseguimos achar. É importante porque ao medirmos, os valores podem variar para mais ou para menos; a média ameniza essa diferença.”
- “A média é um valor próximo ao valor real, pois ela elimina erros aleatórios.”
- “É um valor que está mais próximo do valor real. É uma aproximação que reduz os erros de medida”

Podemos ver pelas respostas que parte dos estudantes reconhece que a média é uma aproximação do valor real e que seu cálculo pode eliminar apenas erros aleatórios de medida.

Nos relatórios escritos pelos estudantes, também pudemos identificar algumas passagens que demonstram concepções incorretas sobre a importância do cálculo da média e também algumas passagens que demonstram certa sofisticação no pensamento:

“É necessário medir três vezes para obter uma média, que funcionará como uma taxa de erro. Medindo três vezes há uma certeza maior para os resultados.”

“A partir desses dados, tiramos a média, pois ela minimiza os erros aleatórios e representa melhor a grandeza medida.”

Portanto, os resultados dessa seção nos deixam em alerta. Mesmo tendo realizado 13 práticas ao longo do ano letivo e, na grande maioria terem calculado a média de diversos conjuntos de dados, parte dos estudantes não reconhece a necessidade de se calcular a média e, a grande maioria não atribui à média o seu real significado e importância.

6.4.2 Qualidade dos dados: dispersão dos dados

A **Questão 1** do questionário **CE-2** apresenta dois conjuntos de dados, originados de uma mesma atividade. Os conjuntos apresentam a mesma média, porém, em um deles a dispersão dos dados é maior do que a do outro (figura 5.6). A questão apresenta três comentários sobre os dados, que diferem entre si, basicamente pelo julgamento de qual dos dois conjuntos de dados é melhor:

Comentário 1 – Os dados do grupo A são melhores, pois eles obtiveram dois valores iguais a média.

Comentário 2 – Os dados do grupo B são melhores, pois as medidas estão todas entre 2,3 e 2,6 s, valores mais próximos da média.

Comentário 3 – Os dados do grupo A são tão bons quanto os dados do grupo B, pois ambos possuem a mesma média.

Nosso objetivo nessa questão é analisar se os estudantes percebem essa diferença e se eles associam o tamanho da dispersão dos dados com a qualidade dos dados coletados.

Dos 202 estudantes que responderam ao pré-teste, 68 (33,7%) concordaram com o **Comentário 2**, enquanto 130 (64,3%) concordaram com o **Comentário 3**. No pós-teste, dos 161 estudantes que o fizeram, 59 (36,7%) concordaram com o **Comentário 2** e 100 (62,1%) concordaram com o **Comentário 3**.

Percebe-se que para a maioria dos alunos apenas a média importa para julgar a qualidade dos dados experimentais. Tal fato fica evidenciado pela análise das justificativas apresentadas:

- “Porque o melhor valor para uma medida de qualquer coisa é a média de vários valores, que permite um valor mais próximo do valor ideal. Se as médias dos dois grupos são iguais podemos ver como ambos obtiveram um mesmo valor quase ideal, ou seja, ambos são bons.”
- “Comentário 3, pois com a mesma média eles possuem os mesmos erros e acertos.”
- “Porque ambos os grupos tiveram erros de medida. Não importa valores isolados, o que importa é a média, pois ela é o valor mais representativo das medidas. Como eles obtiveram a mesma média, os dois grupos estão corretos.”

Nas entrevistas realizadas também abordamos a questão:

- “Tanto um quanto o outro são bons porque eles acharam a mesma média. Às vezes a gente pensa que o B é melhor porque teve uma variação menor. Mas acho que por terem obtido a mesma média os dois são bons.”
- Na minha opinião, se a média foi igual, acho que não tem diferença de qual é o melhor. O importante é a média.

Na tabela 6.21 estão os resultados da comparação entre os testes. Dos 147 estudantes que realizaram os dois testes, 30 concordaram com o **Comentário 2** nos dois testes. Dos 117 estudantes restantes, apenas 25 (21,4%) concordaram com o **Comentário 2** no pós-teste. Assim, não houve diferenças significativas entre os testes – $MH(147) = 0,555$, $p = 0,678$.

Tabela 6.21 – Comparação dos resultados dos testes – Dispersão dos dados

		Pós-teste			Total
		Comentário 2	Comentário 1	Comentário 3	
Pré-teste	Comentário 2	30	2	17	49
	Comentário 1	1	0	2	3
	Comentário 3	24	0	71	95
Total		55	2	90	147

Os estudantes que optaram pelo **Comentário 2** demonstram que, além da média dos valores obtidos, consideram também a extensão da dispersão dos dados na avaliação da qualidade dos dados. É claro que a grande maioria não utilizou esse vocabulário ou esses termos, mas deixou clara sua idéia:

- “Os dados do grupo B são melhores, pois as medidas estão mais próximas da média e variam menos do que o grupo A que possui medidas muito distantes tanto da média quanto umas das outras.”
- “O comentário 2, porque os melhores valores são os mais próximos entre si e da média.”
- “A precisão do grupo B é maior porque todos valores encontrados estão próximos da média.”

O resultado aqui obtido é similar aos resultados obtidos nas pesquisas de Lubben e Millar (1996) e Rollnick e colaboradores (2001). Em ambas as pesquisas, a maioria dos estudantes também argumenta que a qualidade dos dois conjuntos de dados é a mesma, pois possuem a mesma média. Portanto, assim que aprendem a operacionalizar e a calcular a média de um conjunto de valores, os estudantes passam a considerá-la o único critério de avaliação dos dados, não considerando a dispersão do conjunto.

Coelho e Seré (1998) também obtêm resultados semelhantes. Trabalhando com estudantes do ensino médio franceses, as autoras concluem que os estudantes sabem efetuar o cálculo da média de um conjunto de valores. Porém, a grande maioria dos estudantes não consegue atribuir à média seu significado e importância.

Realmente, não se esperava um aumento significativo da sofisticação da resposta dos estudantes para essa questão. Como vimos, os estudantes têm, logo no início do ano, algumas aulas teóricas (três aulas de 50 minutos) sobre teoria de erros, tipologia de erros e cálculo de média e desvio absoluto médio e também realizam uma atividade prática que aborda diretamente esse assunto. Mas, após esse momento, no restante do ano, esses assuntos não foram trabalhados ao longo das demais atividades. E, como já dissemos, na grande maioria dessas atividades, os estudantes tiveram que efetuar o cálculo da média para representar o valor de uma medida, mas não calculam qualquer medida de dispersão. Portanto, a grande ênfase e importância dada à média demonstrada nas respostas dos estudantes parece refletir esse fato. Para a maioria dos estudantes que participaram da pesquisa, de acordo com os resultados dessa questão, se dois conjuntos de dados tiverem a mesma média, esses conjuntos

são equivalentes, ou seja, têm a mesma qualidade, independentemente da dispersão dos dados de cada um.

A análise das respostas dos estudantes ao **item (iv)** da **Questão 3** do questionário **CE-1** (figura 5.4) pode contribuir para compreendermos melhor as idéias dos estudantes sobre a dispersão dos dados. O item diz que dois grupos realizaram, cada um, quatro coletas de dados para a altura **h** igual a 25 cm e resolveram comparar as marcas deixadas nas folhas. Foi apresentada aos estudantes uma figura ilustrando a folha obtida pelos grupos. Foram feitos três comentários e os estudantes deveriam escolher aquele que julgassem mais adequado. Os comentários dos estudantes eram os seguintes:

Comentário 1 – Os resultados dos dois grupos são semelhantes, pois ao calcular a média, obtém-se o mesmo valor.

Comentário 2 – Os resultados do grupo A são melhores, pois as marcas são menos espaçadas e mais próximas umas das outras.

Comentário 3 – Algum grupo de ter se enganado e cometido algum erro durante a coleta de dados. Para uma mesma altura, não se pode obter dados tão distintos.

A maioria dos 228 estudantes que responderam ao pré-teste concordou com o **Comentário 3** (44,7%), enquanto que 70 estudantes (30,7%) concordaram com o **Comentário 2**. Esse resultado era esperado, uma vez que, na seção 6.1.3 já havíamos detectado que os estudantes tiveram dificuldades em reconhecer como normal a diferença de 0,6 cm obtida no **item (iii)** da mesma questão.

No pós-teste, dos 173 estudantes, a percentagem destes que concordaram com o **Comentário 3** diminuiu para 27,7% (48), enquanto a percentagem dos que concordaram com o **Comentário 2** aumentou para 42,8% (74).

Comparamos as respostas dos alunos que responderam aos dois testes. Dos 161 estudantes, 31 concordaram corretamente com o **Comentário 2**. Dos 130 restantes, 38 (29,2%) sofisticaram suas concepções sobre dispersão dos dados ao concordarem, no pós-teste, com o **Comentário 2**, o que resultou numa diferença significativa entre os testes - MH (161) = 2,469, $p = 0,016$.

Tabela 6.22 – Comparação dos resultados dos testes – Dispersão dos dados

	Comentários	Pós-teste		Total
		Comentário 2	Comentário 1	
Pré-teste	Comentário 2	31	9	53
	Comentário 1	10	20	39
	Comentário 3	28	18	69
Total		69	47	161

Há semelhanças entre alguns comentários da *Questão 1* do questionário **CE-2** e do **item (iv)** da *Questão 3* do questionário **CE-1**. Os **Comentários 2** das duas questões são semelhantes, pois afirmam que os dados de um grupo são melhores pois apresentam valores mais próximos da média. O **Comentário 3** da *Questão 1* é semelhante ao **Comentário 1** do **item (iv)**, pois afirmam que os resultados são semelhantes por apresentar a mesma média. Já o **Comentário 1** da *Questão 1* não se aplica ao **item (iv)**, da mesma forma que o **Comentário 3** do **item (iv)** não se aplica à *Questão 1*. Portanto, procuramos identificar se houve uma relação entre as respostas dos estudantes apenas para os comentários semelhantes. Para tanto, consideramos as respostas dos estudantes apenas no pós-teste. A tabela 6.23 exibe a relação.

Tabela 6.23 – Relação entre as opções dos estudantes nas duas questões.

Item (iv) Questão 3	Questão 1	
	Comentário 2	Comentário 3
Comentário 1	5	40
Comentário 2	37	23

A distribuição das opções dos estudantes de acordo com os comentários das duas questões não é proporcional, o que indica uma relação entre as opções dos estudantes nas duas questões - $\chi^2(1) = 27,384$, $p < 0,001$. Percebemos que grande parte dos estudantes que optaram pelo **Comentário 2** na *Questão 1* optou também pelo comentário similar no **item (iv)**. Da mesma forma, aqueles que optaram pelo **Comentário 3** na *Questão 1* tiveram uma preferência maior pelo **Comentário 1** no **item (iv)**. Porém, neste último, a diferença entre os valores não foi tão grande. Como vimos, pesquisas apontam que o contexto da atividade pode influenciar decisivamente nas concepções e nas respostas dos indivíduos. E essa influência é maior sobre aqueles estudantes que não possuem ainda um conhecimento correto e estruturado sobre o assunto. Portanto, a mudança de contexto, por meio do uso de representações na forma ilustrativa e na forma de dados tabelados, influenciou para que alguns estudantes julgassem de forma diferente as duas questões. Pesquisas anteriores também sugerem a influência do contexto nas habilidades dos estudantes em lidar com os conceitos de evidência relacionados ao processo de medição (Leach e colaboradores, 2000; Lubben e colaboradores, 2004). Já a influência da mudança de contexto sobre aqueles alunos que possuem um entendimento já estruturado sobre o assunto é menor, fazendo com que estes avaliassem as questões de forma semelhante.

6.4.3 Variações experimentais ou relação de causalidade?

A **Questão 2** do questionário **CE-2** apresentava os dados coletados por um grupo de estudantes que investigava a influência da massa sobre o período do pêndulo. Para isso, o grupo utilizou duas massas distintas (100g e 200g) e coletou cinco tempos distintos para o período do pêndulo para cada massa. As médias obtidas para as duas massas variavam pouco e eram fornecidos dois comentários para que os estudantes julgassem o mais adequado (figura 5.7):

Comentário 1 – O período do pêndulo depende da massa, pois os valores obtidos para as médias são diferentes.

Comentário 2 – O período do pêndulo não depende das massas, pois as médias foram semelhantes.

Nosso objetivo nessa questão era determinar se os estudantes conseguiam perceber que as variações nos valores eram decorrentes de erros de medida e não da suposta influência da massa sobre o período do pêndulo. Os valores das medidas presentes na tabela, para ambas as massas, são muito semelhantes e se sobrepõem, não havendo diferenças significativas entre os valores.

Dos 202 estudantes que responderam à questão no pré-teste, 110 (55,5%) concordaram corretamente com o **Comentário 2**. No pós-teste, dos 161 estudantes, 68,3% também optaram por este comentário. Quando comparamos as respostas dos estudantes nos dois testes (tabela 6.24), obtemos que 64 (43,5%) concordaram corretamente com o **Comentário 2**. Dos outros 83 estudantes, 38 deles (45,8%) optaram, no pós-teste, pelo **Comentário 2**. Portanto, houve uma diferença significativa dos resultados dos testes no início e no final do ano letivo - $MH(147) = 2,994$, $p = 0,004$.

Tabela 6.24 – Comparação dos resultados dos testes – Causalidade

		Pós-teste		Total
Comentários		Comentário 2	Comentário 1	
Pré-teste	Comentário 2	64	16	80
	Comentário 1	38	29	67
Total		102	45	147

Além da opção por um dos comentários, os estudantes deveriam justificar sua escolha. Classificamos as justificativas dos estudantes da seguinte maneira: se na justificativa existisse alguma menção aos dados ou sobre os valores das médias apresentadas, classificamos tal

justificativa como sendo ‘baseada em evidência’. Caso a justificativa mencionasse alguma concepção, conceito ou idéia sobre o assunto e não se referisse aos dados presentes, ela seria classificada como sendo ‘baseada em teoria’. Essa distinção entre justificativas baseadas em teoria ou evidência é clássica na literatura (Kuhn, Amsel e O’Loughlin, 1988; Koslowski, 1996) e demonstra a preocupação e o foco de atenção do indivíduo ao justificar suas escolhas e decisões. Abaixo, apresentamos alguns exemplos para melhor caracterização das duas categorias de justificação.

Justificativas categorizadas como ‘baseadas em evidência’

- “O comentário 2, pois, em certos momentos, um dos pêndulos tem períodos semelhantes ou iguais à média do período do outro pêndulo.”
- “Visto que, se o período dependesse da massa, o período de um sempre teria que estar maior que o do outro. E, pela tabela, observamos que, às vezes, o de maior massa tem um período maior e vice-versa. Portanto, a média está muito próxima e a diferença pode ser desconsiderada já que ocorrem erros de medida.”

Justificativas categorizadas como ‘baseadas em teoria’

- “Por ter mais massa, a esfera ganha mais velocidade, sendo então, mais rápida.”
- “Quanto maior a massa, maior será a sua energia cinética.”

Aa tabela 6.25 apresenta o total e a percentagem de estudantes, no pré e no pós-teste que tiveram suas justificativas classificadas de acordo com a categorização acima. Não há diferenças nos resultados do pré e do pós-teste – $MH(147) = 0,108$, $p = 1,000$.

Tabela 6.25 – Comparação dos resultados dos testes – Causalidade

Justificativa	Pré-teste		Pós-teste	
	N	%	N	%
Baseada em evidência	128	63,4	111	69,0
Baseada em teoria	62	30,7	44	27,3
Outras	12	5,9	6	3,7
Totais	202	100	161	100

É importante salientar que, quando o pré-teste foi aplicado, os estudantes não tinham ainda, tido aulas específicas sobre os conceitos envolvidos necessários à compreensão do movimento do pêndulo. Já no pós-teste, os alunos já haviam, inclusive, feito uma atividade experimental para determinar os fatores que influenciam no período do pêndulo. Mas, mesmo com um conhecimento teórico maior sobre o assunto, a percentagem de justificativas baseadas

em evidência aumentou ligeiramente, o que demonstra que os alunos aumentaram um pouco sua atenção aos dados e os utilizaram para justificar suas escolhas.

Analizamos se houve relação entre o comentário escolhido e o tipo de justificativa apresentado. Para essa análise, consideramos apenas os dados do pós-teste. O resultado está na tabela 6.26.

Tabela 6.26 – Relação entre os comentários escolhidos e o tipo de justificativa fornecida

Justificativas	Comentário 1	Comentário 2	Totais
Baseada em evidência	23	88	111
Baseada em teoria	26	18	44
Outras	2	4	6
Totais	51	110	161

Os alunos que escolheram corretamente o **Comentário 2** tiveram uma tendência maior de utilizar, para justificar sua escolha, as justificativas categorizadas como ‘baseada em evidência’. Do total de respostas com justificativas ‘baseadas em evidência’, 79,3% avaliaram corretamente os dados disponíveis, enquanto que apenas 40,9% das respostas categorizadas como ‘baseadas em teoria’ julgaram corretamente o **Comentário 2**. Aqueles que preferiram utilizar seus conhecimentos teóricos e não consideraram o conjunto de dados disponíveis tenderam a optar incorretamente pelo **Comentário 1**.

Enfatizamos aqui que concordamos com a visão de Koslowski (1996) sobre a validade e a legitimidade de se analisar resultados experimentais e evidências levando-se em consideração os conhecimentos prévios. Porém, dada a complexidade do conhecimento conceitual envolvido na atividade e a disponibilidade dos dados para a análise, a escolha por um dos comentários seria mais fácil se o estudante se limitasse apenas à análise dos dados. Mas, mesmo atentando-se apenas para os dados, 20,7% do total das justificativas categorizadas como ‘baseada em evidências’ considerava o **Comentário 1** como sendo o mais adequado. Isso nos revela alguns problemas. Antes de discutirmos esses problemas, apresentamos algumas explicações ‘baseadas em evidência’ que suportam a escolha do **Comentário 1**:

- “Comentário 1, pois as médias não foram semelhantes e o valor obtido das médias são diferentes”.
- “A partir do momento que se observa diferença nos resultados das médias ao mudar a massa, se conclui que essa grandeza influi sim no resultado.”
- “Pois foram tomados os devidos cuidados para não haver erros e se a média é diferente, interfere.”

- “Pois se o período não dependesse da massa, as médias seriam iguais”.

Considerando as justificativas apresentadas acima, percebe-se que os estudantes não conseguem distinguir entre diferenças nas médias causadas por mudanças nos fatores causais e diferenças causadas por erros experimentais ou outros fatores diversos. No problema, a massa do pêndulo duplicou e a variação entre as médias obtidas foi de apenas 0,02s ou 2,7% com relação ao primeiro valor. Além disso, vários valores presentes na tabela se sobrepunham. Pouquíssimos alunos foram capazes de referir-se a esse fato. Para a grande maioria dos estudantes que avaliaram inadequadamente os dados do problema, uma pequena diferença na média dos valores já é motivo para considerar que se tratava de valores significativamente distintos, indicadores de relação causal entre massa e período.

Outro fato interessante que emerge dos dados ajuda a corroborar as inferências feitas na seção anterior. Das 111 explicações categorizadas como sendo ‘baseada em evidência’, apenas 15 (13,5%) apresentavam indícios claros de que os estudantes observaram os dados presentes na tabela e compararam esses valores. Na grande maioria das respostas, os estudantes referiram-se apenas às médias dos dados, o que novamente, evidencia a grande importância que os estudantes atribuem à média.

Nas aulas de laboratório, os estudantes planejaram e executaram uma investigação cujo objetivo era determinar os fatores que influenciam o período de um pêndulo. Um grupo com quatro estudantes havia obtido os tempos médios de 1,17, 1,15 e 1,21 segundos para os valores de massa de 50, 90 e 200 gramas. Foi então perguntado aos alunos:

P- “A massa tem influência ou não?”

A1- “Influencia”.

A2- “Não influencia”.

A3- “Influencia”.

A4- “Influencia. Tem uma influência sim. Tem um pouquinho”.

P- “Aluno A1. A massa influencia ou não?”

A1- “Influencia. Influencia, mas acho que é muito pouco”.

A2- “Eu considero que não. A massa não interfere. Foi erro nosso. Tenho certeza”.

A3- “A diferença que dá variando o comprimento do pêndulo e o ângulo é muito maior que variando a massa”.

Pelo diálogo, percebe-se que, com exceção da aluna **A2**, os outros alunos acreditam que a massa influencia no período do pêndulo, apesar dos valores semelhantes obtidos.

Analisando os relatórios produzidos pelos estudantes também fica clara a confusão sobre variações aleatórias e variações devido à causalidade de determinada variável.

Outros alunos não apresentaram dificuldades para considerar que a massa não influencia no período do pêndulo. Um grupo de alunas obteve os valores de 1,66, 1,64 e 1,70 segundos para valores de massa do pêndulo de 50, 100 e 200 gramas. Pelo diálogo abaixo, fica claro que as alunas percebem que a massa não tem influência no período do pêndulo:

A1- “Não variou muito não.”

P- “Mas e essa diferença entre os valores?”

A1- “Para saber se a massa influencia?”

A2- “Você vê que não porque o de 50 gramas deu uma média maior que o de 100 gramas e o de 200 gramas deu uma média maior que o de 100 gramas. Não variou porque a massa é maior ou menor.”

A1- “Essa variação aqui é erro de medida.”

Em um relatório de um estudante do qual o grupo obteve valores médios para o período de 1,58, 1,52 e 1,55 segundos para valores de massa de 50, 100 e 200g, respectivamente, o aluno concluiu que a massa não influencia no resultado, dizendo que:

“Decidimos que a massa não interfere, pela proximidade dos resultados obtidos e o distanciamento dos valores de massa utilizados.”

Em outro relatório, uma aluna reporta os valores médios para o período de 1,33, 1,27, 1,37 segundos para valores de massa de 50, 100 e 200 g, respectivamente. Essa aluna também conclui sobre a não influência da massa:

“A massa não influencia o período porque mesmo dobrando a massa do pêndulo o seu período praticamente não se altera.”

Porém, em alguns relatórios analisados, pudemos perceber que os estudantes consideraram essas pequenas variações como indícios de causalidade e concluíram pela causalidade e a influência da massa no período do pêndulo. É, de fato, uma questão difícil de se resolver com base em um conjunto limitado de dados.

Uma aluna reportou em seu relatório, valores médios obtidos para o período do pêndulo de 1,71, 1,87 e 1,74 segundos para massas de 50, 100 e 10 gramas, respectivamente. Após construir os gráficos, a aluna concluiu:

“Observando os gráficos e as tabelas, podemos dizer que todos os fatores (comprimento da corda, peso e ângulo) influenciam no período do pêndulo.”

Um aluno obteve valores médios de 1,61, 1,67 e 1,75 segundos para valores de massa do pêndulo de 50, 100 e 200 gramas. Em seguida, escreveu:

“O período do pêndulo é influenciado por alguns fatores como a massa, comprimento do pêndulo e o ângulo de lançamento. Isto pode ser comprovado através dos dados da tabela.”

Lubben e colaboradores (2001), trabalhando com universitários recém-ingressos na faculdade, obtiveram resultados semelhantes. Enquanto a grande maioria dos estudantes vê a necessidade de se repetir medidas para se obter a média, a compreensão adequada do propósito de calcular a dispersão dos dados é rara entre eles. Os autores reportam que cerca de 60% dos participantes falharam em considerar a dispersão dos dados quando compararam a média dos resultados de dois conjuntos e menos do que 2% deles demonstraram uma compreensão completa da necessidade de se avaliar, além das médias dos conjuntos de dados, as dispersões de cada um.

6.4.4 Cuidados experimentais

Com o **item (ii)** da **Questão 2** do questionário **CE-2** (figura 5.7), desejávamos saber o quê os alunos sabem sobre os ‘cuidados experimentais’ mencionados no enunciado da questão. Isso é muito importante para definirmos a qualidade e a confiabilidade dos dados que obtemos durante atividades práticas. Esperávamos que as respostas se concentrassem sobre os cuidados para se efetuar as medidas, a necessidade de se repetir as medidas, a utilização de instrumentos precisos e sobre o controle de alguma variável importante para o problema. Com base nas respostas fornecidas pelos estudantes, definimos quatro categorias de respostas descritas no quadro 6.4.

Quadro 6.4 – Categorização das respostas dos estudantes

Categoria	Descrição
R1	Resposta vaga, baseada em uma concepção idiossincrática do estudante.
R2	Resposta na qual o estudante cita claramente algum aspecto relacionado ao controle de variáveis. Normalmente, o estudante preocupa-se em controlar alguma variável, como o tamanho do fio e/ou o ângulo a partir do qual o pêndulo é solto.
R3	Resposta na qual o estudante revela sua preocupação com número de medidas a serem realizadas e/ ou com o cálculo da média.

R4	Resposta na qual o estudante preocupa-se apenas com o processo de medida, sobretudo com a medição do período e da massa do pêndulo. Sua preocupação maior é se as medidas foram feitas cuidadosamente e com a utilização de instrumentos precisos.
-----------	--

Abaixo, exemplificamos as quatro categorias identificadas com respostas dadas pelos alunos:

Categoria R1

- “Como a atividade é experimental, alguns cuidados devem ser tomados, pois eles não sabiam o que poderia acontecer.”
- “A distância, o tempo, pois tudo isso ajuda a ter resultados mais próximos da média”.

Categoria R2

- “Soltar sempre o pêndulo da mesma altura, verificar se a corda que segura os pêndulos tem o mesmo comprimento, pois esses fatores interfeririam nos resultados obtidos, fazendo com que eles não mostrem realmente a interferência da massa no período.”
- “Fixou todos os aspectos que poderiam influir no resultado, exceto o peso; assim é possível avaliar a influência do peso apenas.”

Categoria R3

- “Medir mais de uma vez os tempos, calcular a média das medidas obtidas.”
- “Fazer mais medidas para melhorar a precisão.”
- “Cuidados experimentais devem ser: medir várias vezes, tirar a média e calcular os erros de medida.”

Categoria R4

- “O grupo pelo visto preocupou em usar o cronômetro, pois as medidas de tempo são muito precisas.”
- “Tentar ser preciso na hora de apertar o cronômetro.”
- “Utilizar bons instrumentos, de boa precisão e prestar atenção na hora de medir.”

É importante ressaltar que as categorias **R1** a **R4** não estão organizadas ordenadamente em termos de sofisticação de resposta para esse item. Com exceção da categoria **R1**, que indica respostas vagas e incorretas, as demais categorias apenas indicam a preocupação maior do estudante. Assim, aquele estudante que teve sua resposta categorizada como **R2** poderia também ter escrito sobre a utilização de instrumentos precisos (**R4**), ou a

realização de um maior número de medidas (**R3**). Inclusive isso ocorreu em algumas respostas e então, a resposta foi caracterizada de acordo com a ênfase dada pelo estudante. Além disso, para se garantir a confiabilidade dos dados é importante que o indivíduo preocupe-se com todos os aspectos levantados nas categorias **R2** a **R4** e não apenas com determinados aspectos isoladamente.

Na tabela 6.27¹² está a distribuição das respostas dos estudantes, de acordo com cada categoria para o pré e o pós-teste.

Tabela 6.27 – Distribuição das respostas dos estudantes de acordo com a categorização criada.

Categorias	Pré-teste		Pós-teste	
	N	%	N	%
R1	51	25,2	7	4,3
R2	79	39,1	67	41,6
R3	20	10,0	28	17,4
R4	41	20,3	47	29,2
Sem Resposta	11	5,4	12	7,5
Totais	202	100	161	100

Percebe-se na tabela 6.27 uma sensível diminuição da categoria **R1** do pré-teste para o pós-teste, o que indica um aumento na sofisticação das respostas dos estudantes. A ocorrência da categoria **R2** permanece quase constante e percebe-se certo aumento das categorias **R3** e **R4**. Esse resultado é satisfatório e indica que ao final da seqüência de realização das atividades de laboratório programadas para o ano letivo, 88,2% dos estudantes conseguiram identificar alguns cuidados experimentais que contribuem para a obtenção de dados mais confiáveis e seguros.

¹² A tabela 6.27 também não foi apresentada como dupla entrada pois não é nosso interesse identificar possíveis mudanças no pensamento dos estudantes sobre cuidados experimentais, pois todos são igualmente importantes e sim, se os alunos conseguem apenas identificá-los.

6.5 Conceitos de Evidência: gráficos e tabelas

Apresentamos, no capítulo 3, uma discussão sobre a importância que as representações gráficas possuem nas ciências e na vida cotidiana dos indivíduos. Considerando que as representações gráficas fazem parte de nossa cultura e são encontrados com frequência nas revistas, jornais, livros didáticos e na televisão, os estudantes devem aprender a utilizar os gráficos para compreender as relações neles representadas e também, como ferramentas para a comunicação. Na ciência, sobretudo em atividades experimentais, os gráficos servem como representações de relações entre grandezas observadas e também como ferramentas poderosas para a representação e comunicação de grande volume de dados complexos, das quais se pode extrair várias informações sobre a relação entre as variáveis neles representadas. Investigamos assim, nas próximas seções, as habilidades dos participantes em construir gráficos e obter deles informações importantes para a resolução das questões propostas.

6.5.1 Traçando a melhor reta

A **Questão 3** do questionário **CE-2** (Figura 5.9) possui dois itens (i) e (ii) e apresenta um gráfico de força aplicada x distensão da mola no qual estão representados apenas os pontos obtidos por um grupo de estudantes durante uma atividade experimental. Essa questão foi respondida por 202 estudantes no pré-teste e 161 estudantes no pós-teste. Desses estudantes, 147 fizeram ambos os testes. No **item (i)** é solicitado que se trace a reta que melhor se ajusta nos pontos do gráfico. A análise dos dados mostrou duas tendências bastante distintas. Uma tendência foi a construção de segmentos de reta, ligando ponto a ponto do gráfico. Outra tendência foi a de traçar uma única reta que se ajusta ao conjunto dos pontos representados. A tabela 6.28 compara as estratégias dos estudantes no pré e no pós-teste.

Tabela 6.28 - Estratégias utilizadas para traçar a reta no gráfico.

	Estratégia	Pós-teste		Total
		Traçou a reta	Ligou os pontos	
Pré-teste	Traçou a reta	101	2	103
	Ligou os pontos	31	13	44
Total		132	15	147

No pré-teste, 67 (33,2%) estudantes traçaram os segmentos de reta ligando os pontos do gráfico, enquanto que no pós-teste, essa percentagem caiu para 11,2% (18).

Acompanhando a mudança, houve um aumento da percentagem de estudantes que traçaram como esperado, uma única reta através dos pontos (de 66,8% no pré-teste para 88,8% no pós-teste, de 135 para 143). Ao comparar os estudantes que realizaram os dois testes, obtivemos que 101 traçaram a reta que melhor se ajustava aos pontos nos dois testes. Dos 46 restantes, 31 (67,4%) estudantes sofisticaram suas respostas, o que resultou numa diferença significativa entre os testes – MH (147) = 5,048, $p < 0,001$.

No **item (ii)** é solicitado que se calcule a constante elástica da mola, que num gráfico de força aplicada x distensão pode ser obtida por meio da inclinação do gráfico. Foi fornecida aos estudantes a equação $F = k.X$, que relaciona a força aplicada e a distensão sofrida pela mola.

A análise dos dados indicou que os estudantes utilizaram, basicamente, quatro estratégias distintas para o cálculo da constante elástica da mola. Essas estratégias estão descritas no quadro 6.5.

Quadro 6.5 – Categorização das estratégias utilizadas pelos estudantes

Estratégia	Descrição
G1	Determinou de maneira incorreta, normalmente utilizando a fórmula, mas realizando uma manipulação algébrica incorreta.
G2	Determinou aplicando a fórmula fornecida e utilizando apenas um ponto.
G3	Determinou utilizando a fórmula fornecida, mas utilizou vários pontos e ao final, calculou a média dos valores obtidos.
G4	Calculou a constante elástica da mola utilizando a inclinação da reta de melhor ajuste, ou seja por meio da relação $\Delta F / \Delta X$.

Consideramos que as estratégias para determinação da constante elástica da mola estão em ordem crescente de sofisticação. A estratégia **G1** caracteriza-se pela determinação incorreta do valor. A estratégia **G2** caracteriza-se pela utilização da fórmula e de apenas um ponto para o cálculo. Porém, qual ponto utilizar? Para cada ponto utilizado, os resultados seriam diferentes. A utilização da estratégia **G3** demonstra essa preocupação. Assim, quem a utilizou calculou dois ou mais valores da constante elástica por meio da fórmula e obteve a média dos valores. A estratégia **G4** é a mais adequada, pois se calcula a constante elástica da mola por meio da inclinação da melhor reta obtida no gráfico.

Não interpretar a inclinação e a área sob o gráfico são as principais dificuldades enfrentadas pelos estudantes quando interpretam gráficos. Essas dificuldades, presentes mais frequentemente no domínio da cinemática, são devidas às relações ‘ocultas’ entre as variáveis representadas nos eixos cartesianos. As dificuldades de interpretação dessas relações que não

são explícitas no gráfico podem também estar relacionadas com as dificuldades conceituais enfrentadas pelos estudantes.

Uma importante contribuição para a compreensão do processo de interpretação de gráficos foi dada pelos estudos de Curcio e colaboradores (Curcio, 1987; Friel, Curcio e Bright, 2001) que apresentam um referencial que divide a compreensão sobre gráficos do indivíduo em três níveis:

- *leitura dos dados*: consiste em levantar e identificar informações imediatamente disponíveis na representação gráfica. Envolve a resposta de questões diretas sobre os dados.
- *leitura entre os dados*: envolve a interpolação e a identificação de relações que não estão imediatamente disponíveis. Inclui-se neste nível a realização de comparações e operações com os dados, tais como atribuir significados à inclinação ou intercepto do gráfico com o eixo vertical.
- *leitura além dos dados*: envolve a realização de extrapolações, previsões e inferências sobre os dados para responder às questões implícitas.

Se considerarmos os níveis propostos por Curcio e colaboradores sobre interpretação gráfica, podemos considerar que os estudantes cujas respostas foram categorizadas como **G1** e **G2** limitaram-se à *leitura dos dados*, por trabalharem e considerarem apenas pontos isolados do gráfico. Já os estudantes cujas respostas foram categorizadas como **G3** e **G4**, apresentaram um nível de compreensão do tipo *leitura entre os dados*, por considerarem mais pontos ou por terem executado operações com os diversos valores do gráfico.

Para compararmos os resultados dos testes, agrupamos os alunos em dois grupos. Aqueles que utilizaram as estratégias **G1** ou **G2** e aqueles que utilizaram as estratégias **G3** e **G4**. Os resultados estão presentes na tabela 6.29.

Tabela 6.29 – Ocorrência das estratégias para resolução do item (ii).

	Estratégia	Pós-teste		Total
		G3+G4	G1+G2	
Pré-teste	G3+G4	23	11	34
	G1+G2	41	62	103
Total		64	73	137

No pré-teste, dos 202 estudantes, 137 (67,8%) utilizaram as estratégias menos sofisticadas, enquanto 46 estudantes (22,8%) utilizaram as estratégias **G3** e **G4**. No pós-teste, a percentagem dos estudantes que utilizaram as estratégias **G1** e **G2** diminuiu para 52,8%

(85), enquanto que a percentagem dos estudantes que utilizaram as estratégias mais sofisticadas aumentou para 42,8% (69).

Ao considerarmos apenas os 137 estudantes que responderam aos dois testes, 23 utilizaram as estratégias **G3** e **G4** nos dois testes. Dos 114 estudantes que poderiam melhorar no pós-teste, 41 (36,0%) melhoraram e responderam à questão com uma estratégia mais sofisticada, o que resultou numa diferença significativa das respostas dos estudantes entre os testes – $MH(137) = 4,160$, $p < 0,001$.

É importante ressaltar que a construção de gráficos foi uma atividade muito presente ao longo do ano letivo. Das 13 atividades realizadas, em 9 atividades os alunos tiveram que construir pelo menos um gráfico semelhante ao da **Questão 3**.

Analisamos a relação entre a forma como o estudante traçou a reta pelos pontos e a estratégia adotada para o cálculo da constante elástica da mola. Consideramos para isso, apenas os dados do pós-teste. Foram construídos pelos estudantes 18 gráficos nos quais os pontos foram ligados por segmentos de reta. Desse total, apenas 3 (16,7%) adotaram a estratégia mais sofisticada para determinar a constante elástica da mola, enquanto que, dos 143 gráficos construídos com a melhor reta passando pelos pontos (ou próximos a eles), em 60 deles (42,0%), os estudantes adotaram a estratégia **G4** para o cálculo da constante elástica.

É importante perceber que a utilização das estratégias **G2** e **G3** não são dificultadas pela forma como o gráfico é desenhado, pois para a utilização da fórmula, qualquer ponto poderia ser utilizado de forma independente. Porém, a utilização da estratégia **G4** depende muito da forma como o gráfico está representado. Quando o gráfico assemelha-se a uma reta, é bem natural que se possa determinar sua inclinação. Mas quando se vê um gráfico fragmentado em vários segmentos de reta, tal percepção é prejudicada, o que justifica as diferenças obtidas.

6.5.2 Construção do gráfico a partir de dados tabelados

A habilidade de construir gráficos a partir de dados tabelados foi extensamente trabalhada ao longo do ano letivo. Como vimos, na maioria das atividades realizadas, os alunos construíram gráficos e, originalmente, os dados utilizados foram previamente representados em tabelas. A figura 6.1 ilustra tabelas extraídas dos relatórios dos estudantes.

Parece que, pelo menos parte dos estudantes compreendeu que a representação dos dados em tabelas e gráficos é uma etapa fundamental, que contribui para a análise dos dados e

que não representa apenas uma etapa burocrática da atividade. Ao lermos os relatórios produzidos pelos estudantes, pudemos observar diversas passagens nas quais alguns estudantes deixaram claro que utilizaram os gráficos construídos para obterem as informações necessárias.

“Para sabermos se a variáveis, citadas acima, influenciam no período do pêndulo, analisamos os gráficos da tabela. Assim, se os gráficos variaram, é porque houve interferências, já se os gráficos permanecerem constantes, ou seja, reta paralela, não houve alterações.”

“Para descobrir de que forma cada grandeza afeta o período do pêndulo, devemos traçar o gráfico do período em função da massa, do ângulo e do comprimento do pêndulo”

Figura 6.1 – Exemplos de tabelas construídas pelos estudantes nos relatórios.

Tabela 1: Experimento do pêndulo.

Período	Amplitude	Massa	Comprimento	Média
1,03/0,97/1,09	20°	50gr	40 cm	1,03
1,19/1,03/0,90	20°	100gr	40 cm	1,04
0,97/1,0/1,0	20°	100gr	40 cm	0,99
1,25/1,22/1,26	20°	100gr	60 cm	1,24
0,75/0,72/0,68	20°	100gr	20 cm	0,71
1,12/1,16/1,13	50°	100gr	40 cm	1,14
1,21/1,40/1,30	90°	100gr	40 cm	1,30

Resumo de alguns de outros grupos:

MÉDIAS PARA O PERÍODO DO PÊNDULO (s)	AMPLITUDES	MASSAS DA BASE DO PÊNDULO	COMPRIMENTO DO CORDÃO	
1,03 • 0,97 • 1,09 = 1,03	20°	50g	40 cm	MASSAS DIFERENTES
1,19 • 1,03 • 0,90 = 1,04	20°	100g	40 cm	
0,97 • 1,00 • 1,00 = 0,99	20°	200g	40 cm	
1,25 • 1,22 • 1,26 = 1,24	20°	100g	60 cm	COMPRIMENTOS DIFERENTES
0,75 • 0,72 • 0,68 = 0,71	20°	100g	20 cm	
1,12 • 1,16 • 1,13 = 1,14	50°	100g	40 cm	AMPLITUDES DIFERENTES
1,21 • 1,40 • 1,30 = 1,30	90°	100g	40 cm	

Durante a execução de atividade investigativa cujo objetivo era determinar a relação matemática entre a força exercida sobre uma mola e a sua deformação, obtivemos o seguinte diálogo entre o pesquisador e o grupo de estudantes.

P- “Vocês estão falando que irão medir a deformação e a força aplicada na mola.”

A1 e A2- “Isso.”

P- “Quantas medidas vocês farão?”

A2 e A3- “Cinco.”

P- “Por que vocês farão cinco medidas?”

A2- “Para ter mais pontos e poder dar uma curva que a gente possa perceber no gráfico.”

P- “Como vocês registrarão as grandezas medidas?”

A1- “Na tabela e no gráfico.”

P- “Por que vocês fazem tabela?”

A1- “Tabela é só para representar melhor, registrar...”

A3- “Organização.”

A2- “É.”

P- “E qual a importância do gráfico?”

A1- “Para poder encontrar a equação matemática.”

A3- “Uma demonstração visual das relações entre as variáveis.”

Em outra entrevista, abordando o lançamento de um projétil, obtivemos uma passagem que representa a importância que os estudantes percebem para os gráficos.

P- “Como vocês fariam para determinar como o alcance varia de acordo com o ângulo do lançamento?”

A1- “A gente atiraria com um ângulo e anotaria o resultado. Faria isso três vezes, depois mudaria o ângulo, repetindo três vezes também. Depois compararia o resultado.”

P- “E como vocês comparariam o resultado?”

A2- “Com um gráfico.”

P- “Qual a importância dos gráficos?”

A2- “Ele permite visualizar as oscilações.”

A1- “Fazendo tudo no mesmo gráfico, dá para nós compararmos como está variando.”

A2- “Para ver o comportamento das medidas.”

Nesse último diálogo, o estudante **A1** fala em repetir medidas e calcular as médias, mas não fica claro em sua fala a necessidade de obter um conjunto maior de pares ordenados

para traçar o gráfico. Mesmo assim, pelos diálogos acima, fica claro que esses estudantes percebem a importância da tabela na organização e exibição dos dados. Também percebem que a construção de gráficos permite visualizar a relação entre as grandezas envolvidas na atividade, assim como a obtenção da relação matemática entre essas grandezas.

Para analisarmos melhor se a realização dessas atividades contribuiu para que os estudantes desenvolvessem a habilidade de construção de gráficos, analisamos as respostas à **Questão 4** do questionário **CE-1** (figura 5.8).

Nessa questão, estão disponíveis os dados da distância percorrida em função do tempo de um móvel, coletados durante uma suposta atividade experimental de um grupo de estudantes. No **item (i)** é solicitado aos estudantes que construam, no espaço apropriado, o gráfico correspondente aos dados tabelados.

Para analisarmos e compararmos o desempenho dos estudantes nessa questão, observamos quatro itens fundamentais na construção de um gráfico: os eixos do gráfico, a escala utilizada, a adequação dos valores representados e a linha do gráfico.

6.5.2.1 Representação dos eixos

Na ciência e, especialmente na física, é comum a representação gráfica da relação entre duas grandezas. Normalmente, tais relações são de causalidade ou covariação entre as grandezas. Por convenção, as variáveis independentes são representadas no eixo X, enquanto as variáveis dependentes são representadas no eixo Y. Portanto, para a representação correta das variáveis nos eixos, é necessário que o indivíduo compreenda, inicialmente, o que são variáveis e entenda os conceitos relacionados.

Dos 205 estudantes que construíram gráficos de linha no pré-teste¹³, 151 (73,7%) representaram os eixos coordenados corretamente e 54 (26,3%) o fizeram de maneira incorreta, invertendo-os. No teste final, 158 estudantes (91,3%) construíram o gráfico corretamente e apenas 8,7% (15) construíram o gráfico com os eixos invertidos.

A tabela 6.30 compara os resultados dos estudantes nos testes. 154 estudantes realizaram os dois testes. Desses, 103 representaram corretamente os eixos nos dois testes. Dos 51 estudantes restantes, 39 (76,5%) deles representaram corretamente os eixos no pós-

¹³ Estamos excluindo 8 alunos no pré-teste que construíram gráficos de barra. No pós-teste, nenhum aluno construiu gráficos de barra. Isso será abordado nas próximas seções.

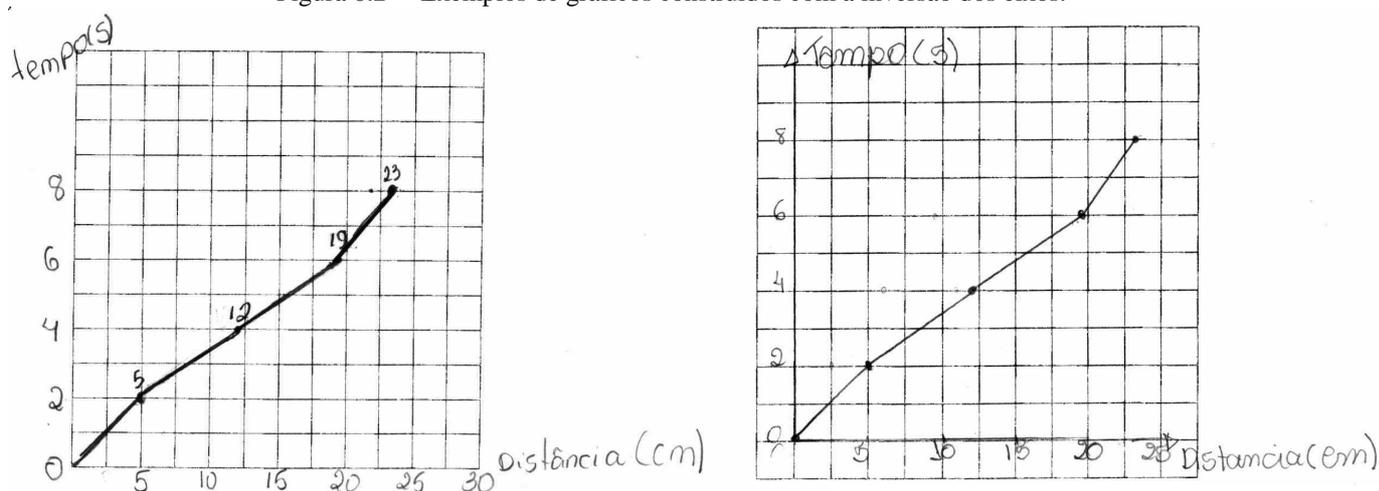
teste, o que representou uma diferença significativa entre os testes – $MH(154) = 4,718$, $p < 0,001$.

Tabela 6.30 – Desempenho dos estudantes na representação dos eixos do gráfico.

Representação	Pós-teste		Total	
	Correta	Invertida		
Pré-teste	Correta	103	7	110
	Invertida	39	5	44
Total	142	12	154	

É importante ressaltar que a inversão dos eixos não impede a representação gráfica da relação entre as variáveis. O que muda, geralmente, é o aspecto final do gráfico. A figura 6.2 ilustra exemplos de gráficos construídos por alunos que representaram os eixos de maneira invertida.

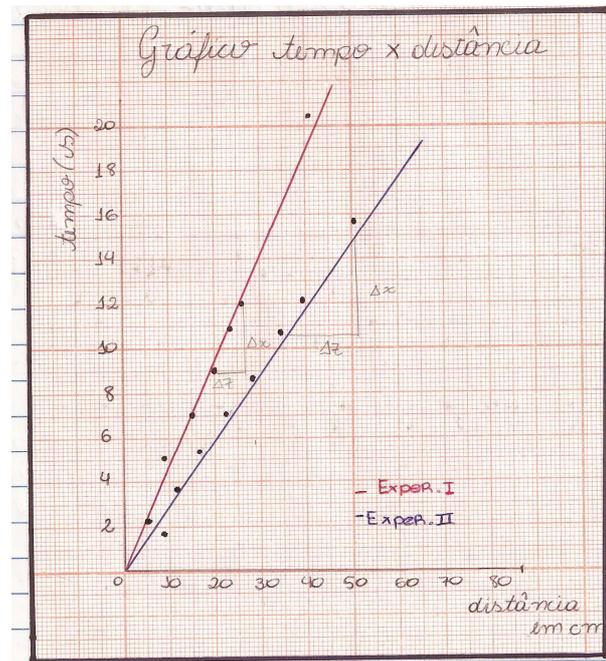
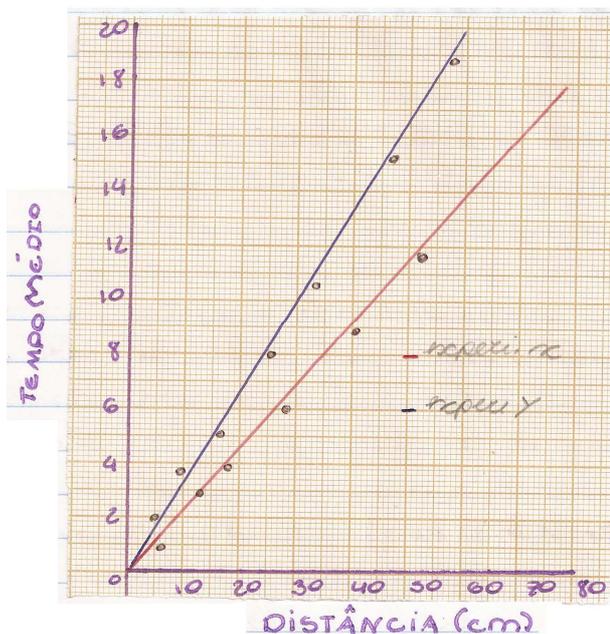
Figura 6.2 – Exemplos de gráficos construídos com a inversão dos eixos.



Porém, quando isso acontece, podem ocorrer também erros de interpretação. Neste caso, a questão ilustra a relação entre o tempo e a distância percorrida. Na física do ensino médio, sobretudo em cinemática, é freqüente a representação de grandezas como velocidade, distancia e aceleração em função do tempo. Nestes casos, essas grandezas dependem do tempo e não o contrário. O tempo é a variável independente na maioria dos problemas. Assim, se obedecermos à convenção de representar variáveis independentes no eixo X e as variáveis dependentes no eixo Y, o tempo deve ser representado no eixo X e as demais variáveis, no eixo Y.

Analisando os relatórios dos estudantes, verificamos também a ocorrência de gráficos com os eixos invertidos. A figura 6.3 ilustra exemplos extraídos dos relatórios iniciais.

Figura 6.3 – Exemplos de gráficos construídos com a inversão dos eixos.



6.5.2.2 Escala

Atividades relacionadas com a escala dos gráficos requerem atenção sobre os eixos, as grandezas neles representadas e as unidades utilizadas. Um gráfico não pode ser totalmente interpretado sem a devida atenção à sua escala. O indivíduo deve decidir o número de intervalos que utilizará, se os eixos devem utilizar a mesma escala, se a escala será interrompida. Quando se altera a escala, o gráfico pode apresentar um aspecto bem diferente do anterior, então o indivíduo deve ser capaz de reconhecer a influência da escala sobre a forma geral do gráfico. Isso pode ser muito difícil para crianças aprenderem, uma vez que não é óbvio que gráficos com formas diferentes representem as mesmas relações. A compreensão da escala e da unidade utilizada é uma das questões relevantes à compreensão gráfica. Ainley (2000) afirma que o uso incorreto das escalas é uma das fontes de erros durante a construção e interpretação gráfica. A autora afirma que crianças de seis anos podem construir gráficos de barra, mas elas não colocam título, eixos e escala.

A definição da escala é, portanto, uma ação muito importante durante a construção da representação gráfica. Dependendo da escala adotada, pode-se alterar completamente o aspecto geral do gráfico, facilitando ou dificultando sensivelmente sua interpretação. Ao se construir um gráfico, várias decisões devem ser tomadas ao se determinar a escala. Em termos gerais, tais decisões referem-se à adoção da unidade de referência, o intervalo de dados a ser representados, a quantidade de intervalos e o espaçamento desses intervalos.

A análise dos dados nos permitiu classificar as escalas adotadas pelos alunos em três tipos distintos:

- **Escala incorreta:** os valores foram representados de maneira não linear ou não proporcional. Normalmente, o estudante utilizou espaços iguais para representar intervalos diferentes (figura 6.4).
- **Escala inadequada:** na folha de resposta, foi reservada uma área quadriculada para que o estudante construísse o gráfico. Porém, alguns estudantes utilizaram de maneira inadequada a área (figura 6.5). Alguns utilizaram uma escala muito grande, gerando um gráfico muito pequeno, dificultando o exame de seus detalhes. Outros extrapolaram a área fornecida, representando apenas parcialmente os dados do gráfico.
- **Escala correta:** neste caso, os estudantes utilizaram de maneira adequada a área quadriculada fornecida (Figura 6.8).

Figura 6.4 – Exemplo de gráfico com escala incorreta.

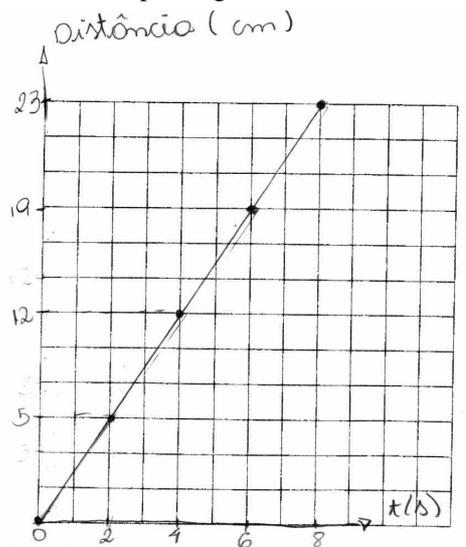
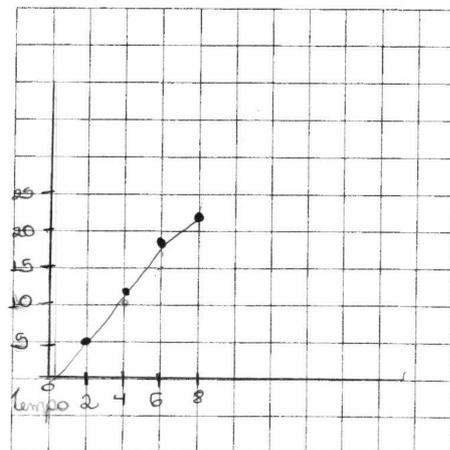
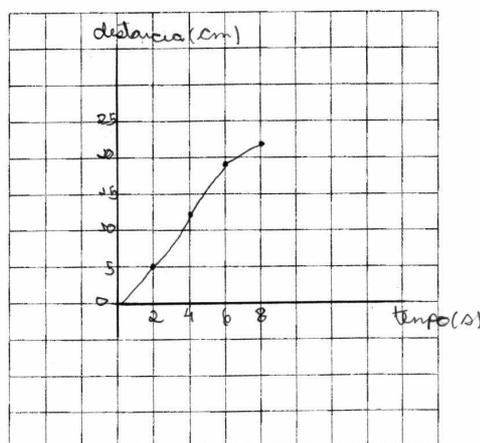


Figura 6.5 – Exemplos de gráficos com escala inadequada



No pré-teste, dos 205 estudantes, 47 (22,9%) representaram incorretamente a escala do gráfico. Como foi dito, o erro mais comum foi o de representar os valores das distâncias da tabela igualmente espaçados no gráfico, como na figura 6.4. Ainda no pré-teste, 24 estudantes (11,7%) construíram as escalas do gráfico de maneira inadequada e 134 (65,4%) construíram seus gráficos com escalas adequadas. Já no pós-teste, dos 173 estudantes que fizeram o teste, apenas 26 (15%) utilizaram escalas incorretas ou inadequadas na construção de seus gráficos.

Comparamos os resultados dos estudantes nos testes com os dados da tabela 6.31. Dos 154 estudantes que realizaram os dois testes, 105 representaram corretamente as escalas nos dois testes. Dos 49 restantes, 34 estudantes (69,4%) desenvolveram melhor a habilidade de representação da escala do gráfico, o que resultou numa diferença significativa em relação ao pré-teste – $MH(154) = 2,739$, $p = 0,007$.

Tabela 6.31 – Resultados dos estudantes na representação da escala do gráfico.

Escala		Pós-teste			Total
		Correta	Inadequada	Incorreta	
Pré-teste	Correta	105	2	1	108
	Inadequada	14	4	0	18
	Incorreta	16	4	8	28
Total		135	10	9	154

6.5.2.3 Localização dos pontos

Analizamos também a capacidade dos estudantes em representar no gráfico os pares ordenados previamente tabelados. Mevarech e Kramarky (1997) afirmam que, quando solicitados a construir gráficos a partir de um conjunto de dados fornecidos, os estudantes a partir de 12 anos já não encontram dificuldades para representá-los adequadamente no gráfico, mas enfrentam dificuldades para, por exemplo, traçar a reta entre os pontos.

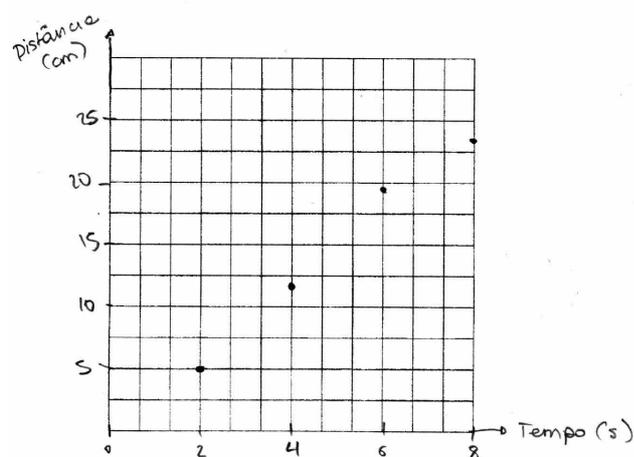
Os estudantes participantes, em geral, não encontraram dificuldades para representar corretamente, os pares ordenados de dados previamente tabelados. Já no pré-teste, 94,3% dos estudantes representaram corretamente os valores no gráfico. No pós-teste, esse valor chegou a 97,1%. Apenas cinco estudantes que fizeram a questão no pós-teste tiveram problemas em representar corretamente os pontos no gráfico, indicando que isso não representa grandes dificuldades para esses alunos.

6.5.2.4 Linha do gráfico

Por fim, investigamos a forma como os estudantes traçaram a curva no gráfico. A análise dos gráficos feitos pelos estudantes revelou três tendências principais:

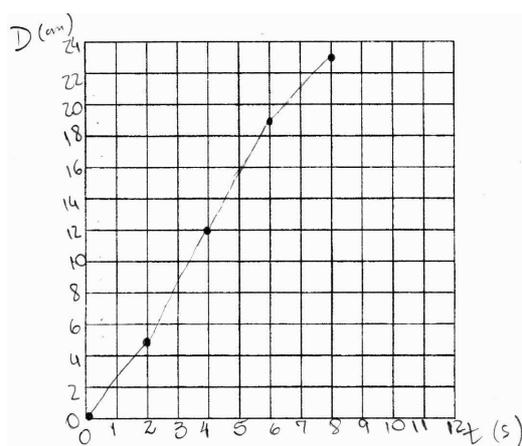
- **Não traçaram a linha:** esses alunos não reconheceram a necessidade de traçar a linha do gráfico. Para eles, fazer o gráfico é marcar os pontos. O gráfico na figura 6.6 exemplifica a maioria dos gráficos assim categorizados.

Figura 6.6 – Gráfico no qual o estudante não traçou a reta.



- **Ligaram os pontos:** nesses casos, os alunos ligaram os pontos consecutivos com segmentos de reta, originando um gráfico todo fragmentado (Figura 6.7).

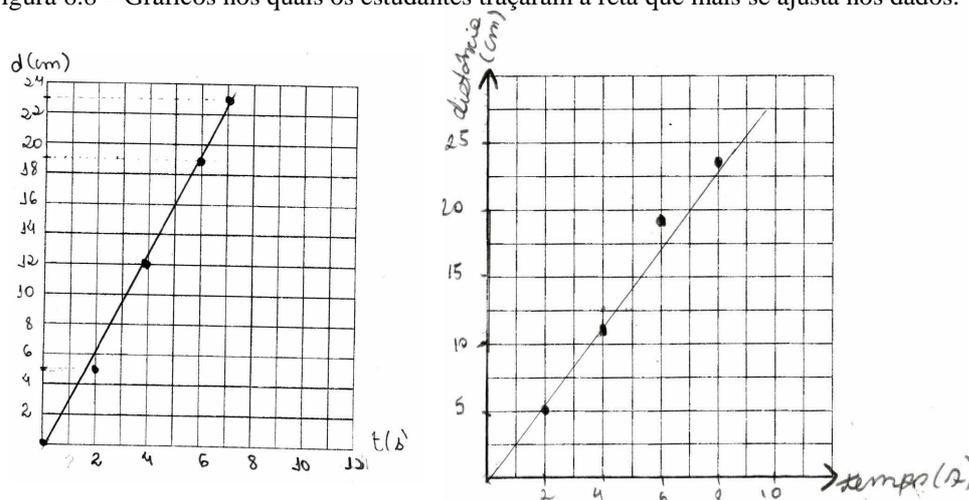
Figura 6.7 – Gráfico no qual o estudante ligou os pontos através de seguimentos de reta .



- **Traçaram a reta que melhor se ajusta:** nesses casos, os estudantes traçaram a reta que mais se ajusta aos pontos do gráfico, traçando uma única reta por todos os pontos (figura 6.8).

A ação de ligar dois pontos consecutivos do gráfico através de um segmento de reta é muito comum entre os estudantes dos ensinos fundamental e médio. Quando isso ocorre, os estudantes percebem que precisam desenhar uma linha no gráfico, porém não entendem o real significado da continuidade do gráfico, o que não é trivial mas implica em suposições acerca da relação entre as grandezas representadas.

Figura 6.8 – Gráficos nos quais os estudantes traçaram a reta que mais se ajusta nos dados.



No pré-teste, dos 205 estudantes, a grande maioria, 70,2% (144) preferiu ligar os pontos com segmentos de reta. Apenas 30 estudantes (14,6%) traçaram a melhor reta que se ajusta aos pontos do gráfico. Já no pós-teste, há um aumento da percentagem estudantes que traçaram a melhor reta (55,5%) e a conseqüente diminuição das demais ações.

Para compararmos os resultados dos testes, utilizamos a tabela 6.32. Percebemos que, dos 154 estudantes que fizeram os dois testes, apenas 15 traçaram a melhor reta nos dois testes. Dos 139 restantes, 79 estudantes (56,8%) utilizaram uma ação mais sofisticada no pós-teste, o que resultou numa diferença significativa entre os testes – $MH(154) = 3,314$, $p = 0,001$. O resultado não surpreende, visto que aprender a trabalhar com gráficos é um objetivo importante da série.

Investigamos a relação entre o desempenho dos estudantes nessa questão e na **Questão 3** do questionário **CE-2** (seção 6.5.1). Para tanto, comparamos as respostas do pós-teste dos estudantes que, nessa questão, traçaram a reta que mais se adequava aos pontos fornecidos, com suas respostas à **Questão 3**. Ao todo, 146 estudantes fizeram as duas questões no pós-teste. Desses estudantes, 82 construíram seus gráficos, nessa questão, traçando a melhor reta. Desses 82 estudantes, 80 também traçaram a reta que melhor se ajustava aos pontos no gráfico da **Questão 3**. Tal resultado demonstra que, houve uma relação entre o desempenho dos estudantes nas duas questões relacionadas a gráficos.

Tabela 6.32 – Comparação das ações dos estudantes nos testes

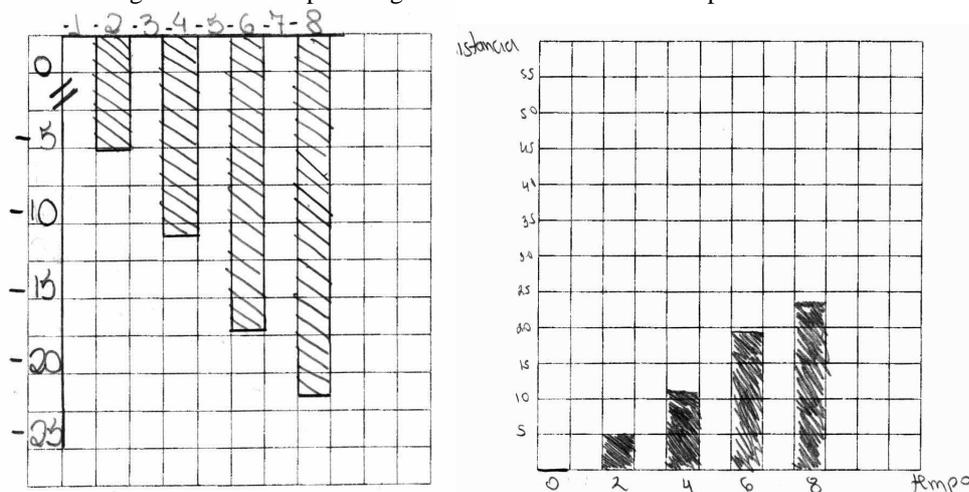
	Ação	Pós-teste			Total
		Traçou a melhor reta	Ligou os pontos	Não traçou a linha	
Pré-teste	Traçou a melhor reta	15	5	0	20
	Ligou os pontos	59	47	4	110
	Não traçou a linha	14	6	4	24
Total		88	58	8	154

6.5.3 Representação gráfica

Por fim, analisamos se o gráfico construído pelo estudante foi apropriado para representar a relação dos dados presentes na tabela. Consideramos como apropriado, o gráfico no qual o estudante levou em consideração os quatro aspectos acima analisados. Ou seja, se o estudante representou adequadamente os eixos, se adotou uma escala correta e adequada, se representou corretamente os valores no gráfico e se traçou a reta que melhor se adequava aos dados disponíveis.

Dos 213 estudantes que fizeram o pré-teste, apenas 10 (4,7%) construíram adequadamente o gráfico da **Questão 4** do questionário **CE-1**, enquanto que no pós-teste, essa percentagem elevou-se para cerca de 45% (77 estudantes). Além disso, no pré-teste, oito estudantes representaram os dados da tabela em gráficos de barras, como ilustrados na figura 6.9. No pós-teste, nenhum estudante utilizou gráfico de barras para representar os dados da tabela.

Figura 6.9 – Exemplos de gráficos de barra construídos pelos estudantes.



A decisão de traçar ou não uma linha conectando de alguma forma os pontos do gráfico não é trivial. Os resultados de pesquisas (Leinhardt, Zaslavsky e Stein, 1990) indicam que os indivíduos erram nas duas direções, ou seja, muitos estudantes constroem gráficos de barra quando deveriam construir uma linha contínua ou apenas marcam no gráfico os pontos fornecidos, não traçando a curva. Isso pode ser bastante compreensível uma vez que os estudantes participantes ainda não aprenderam no 1º ano do ensino médio o significado de grandezas contínuas e discretas, sobre o significado da continuidade/descontinuidade do gráfico.

Na tabela 6.33 está a comparação dos resultados dos estudantes que realizaram os dois testes. Na tabela, incluímos os alunos que, no pré-teste, construíram gráficos de barra. Dos 158 estudantes que realizaram os dois testes, apenas 5 representaram adequadamente o gráfico nos dois testes. Dos 153 restantes, 69 (43,7%) conseguiram, no pós-teste, representar adequadamente o gráfico, o que representa uma diferença significativa entre os testes – MH (158) = 8,12, $p < 0,001$.

Tabela 6.33 – Comparação dos resultados dos estudantes entre os testes – Construção gráfica

	Representação	Pós-teste		Total
		Adequada	Inadequada	
Pré-teste	Adequada	5	1	6
	Inadequada	69	83	152
Total		74	84	158

Apesar da melhoria no desempenho, mais da metade dos estudantes não traçou adequadamente os gráficos. Os principais erros cometidos pelos estudantes, como pudemos acompanhar na seção 6.5.2 foram a utilização de uma escala inadequada/incorrecta e, principalmente, a ligação dos pontos consecutivos nos gráficos através de segmentos de reta.

A ação de ligar os pontos de um gráfico utilizando segmentos de reta é um comportamento muito comum entre os estudantes e também pode ser atribuído á falta de compreensão do significado da linha do gráfico. Lubben e colaboradores (2001) afirmam que esse comportamento é típico de indivíduos que raciocinam segundo o pensamento por ponto, pois estes não percebem a relação existente entre os pontos do conjunto representado. Para estes indivíduos os gráficos são apenas as representações individuais dos pontos fornecidos e a linha do gráfico é muitas vezes, desnecessária ou apenas uma questão estética ou burocrática.

6.1.5.4 Interpolação e extrapolação

Uma das funções dos gráficos durante a realização de uma atividade experimental é facilitar a análise dos dados. Frequentemente, essa análise requer que façamos estimativas ou previsões com dados fornecidos. Isso implica em fazermos interpolações e extrapolações a partir dos dados disponíveis. Portanto, investigamos a habilidade dos estudantes em realizar tais tarefas.

No **item (ii)** da **Questão 4** (figura 5.8), solicitamos que os estudantes fizessem uma interpolação, ao perguntarmos sobre um ponto entre os pontos fornecidos na tabela. Tal análise corresponde ao nível de *leitura entre os dados*. No caso, perguntamos qual seria a distância percorrida para um tempo igual a 5 segundos. Consideramos como correta, os valores entre 14 e 16 metros, inclusive.

Analisando os resultados, percebemos que a interpolação não representa grandes problemas para os estudantes. Já no pré-teste, quase 75% dos estudantes haviam respondido um valor considerado correto, enquanto, no pós-teste, essa percentagem aumentou para quase 85%. Para fazer a interpolação corretamente o estudante deve saber ler os valores adjacentes disponíveis e raciocinar em termos de proporcionalidade.

Comparando os resultados dos dois testes, apresentados na tabela 6.34, podemos ver que, dos 151 estudantes que responderam à questão nos dois testes, 101 a responderam corretamente nos dois testes. Dos demais 50, 30 estudantes (60%) responderam corretamente no pós-teste. Com esse resultado, o desempenho dos estudantes no pós-teste foi superior – $MH(151) = 2,777$, $p = 0,008$.

Tabela 6.34 – Comparação dos resultados dos estudantes nos testes – Interpolação

		Pós-teste		Total
		Correta	Incorreta	
Pré-teste	Correta	101	12	113
	Incorreta	30	8	38
Total		131	20	151

Porém, o desempenho dos estudantes na extrapolação não foi tão bom. No **item (iii)** da questão, solicitamos aos estudantes que estimassem, qual seria a distância percorrida após 10 segundos. Para estimar esse valor, os estudantes deveriam fazer uma extrapolação, uma vez que os dados da tabela iam apenas até 8 segundos. A ação de realizar uma extrapolação corresponde ao nível de *leitura além dos dados* proposto por Curcio (1987).

Percebemos que não houve diferenças significativas no desempenho dos estudantes do pré para o pós-teste e que os estudantes enfrentaram maiores dificuldades na extrapolação do que na interpolação. No pré-teste, cerca de 45% dos estudantes obtiveram um valor considerado correto (valores entre 28 e 31, inclusive). No pós-teste, o valor aumentou ligeiramente para 48%. Ou seja, mais da metade dos estudantes, ao final do ano letivo, ainda enfrentavam dificuldades relacionadas à extrapolação dos dados de um gráfico.

6.2 Atividade investigativa

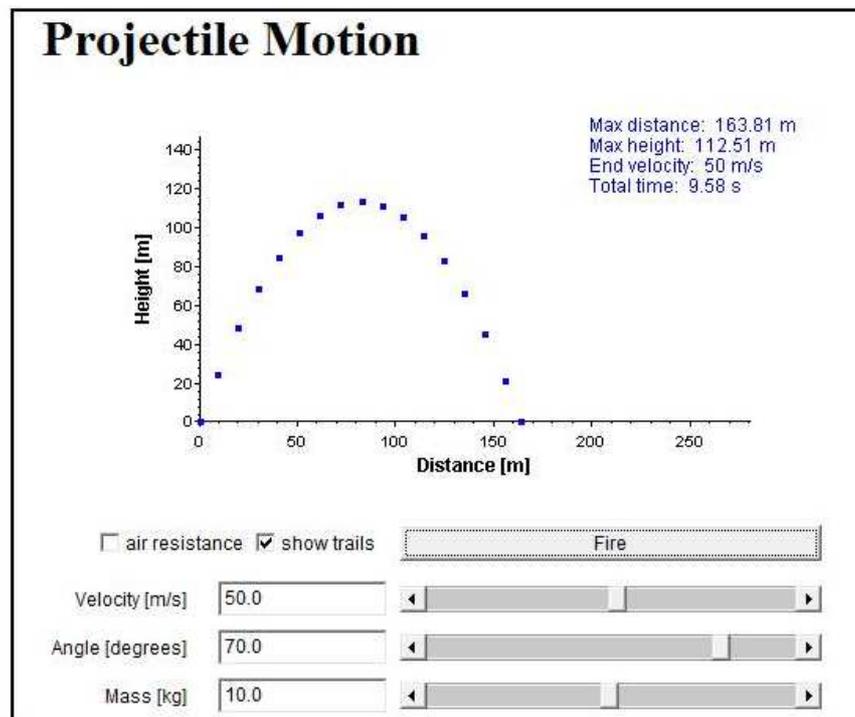
Como dissemos no capítulo 5, após a realização de 8 atividades práticas, foi proposta uma atividade investigativa para avaliarmos o desempenho dos estudantes. Participaram da atividade 47 estudantes de duas turmas. A realização da investigação foi importante para analisarmos como os estudantes mobilizavam os diversos conceitos de evidência trabalhados até então e os utilizavam de maneira coerente para a resolução do problema proposto.

A atividade investigativa utilizada nesse estudo foi concebida para promover a oportunidade de observar as estratégias de geração e análise de evidências que os alunos utilizam em um contexto em que seu conhecimento de senso comum e o ‘senso de mecanismo’ são muito fortes. Dessa forma, como em outras pesquisas (Klahr, Fay e Dunbar, 1993; Penner e Klahr, 1996), planejamos uma atividade que requer dos estudantes a coordenação da busca tanto no espaço dos experimentos, quanto no espaço das hipóteses, assim como a avaliação das evidências produzidas durante a experimentação. Isso representa todos os três grandes processos envolvidos no modelo SDDS, previamente discutido.

O applet utilizado tem como tema o lançamento de projéteis. Na tela, o estudante pode variar a massa, a velocidade e o ângulo de lançamento do projétil (figura 6.10). Após a efetuar as mudanças nesses parâmetros, o projétil era lançado e seu movimento era exibido no monitor com uma pequena animação. Ao final, era traçada a trajetória realizada e exibidas algumas informações sobre o movimento, como altura máxima alcançada e alcance. Podia-se então, iniciar nova simulação, com novos valores.

Para analisarmos como os estudantes realizaram a atividade investigativa por meio da simulação computacional, examinamos alguns aspectos importantes do seu desempenho.

Figura 6.10 – Tela principal do applet utilizado na simulação



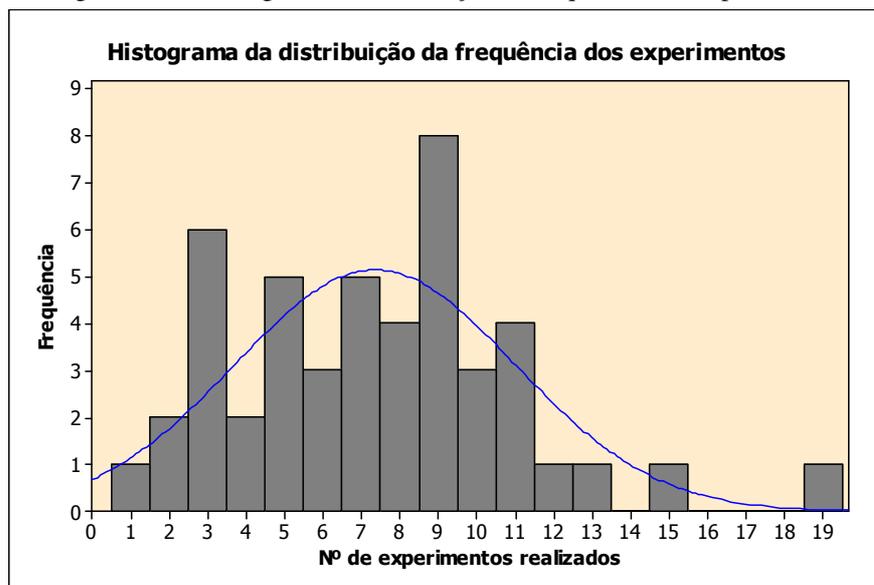
6.2.1 Número de experimentos realizados

Um fator determinante para o sucesso de uma atividade experimental aberta é a quantidade de dados coletados e disponíveis para análise. Identificamos assim, o número de experimentos realizados pelos estudantes (figura 6.11). O número de experimentos feitos é uma indicação da qualidade da busca no espaço experimental e permite inferências sobre as hipóteses com que os estudantes trabalhavam.

Os estudantes realizaram uma média de aproximadamente 7 experimentos. Porém, percebe-se pelo histograma, que o número de experimentos realizados por cada estudante variou bastante, de 1 a 19 experimentos.

O espaço experimental da investigação era bastante amplo, pois o estudante poderia estipular qualquer ângulo entre 0° e 90° . Além disso, como veremos, para responder às perguntas propostas, os estudantes deveriam construir um gráfico. E o gráfico esperado teria a forma de uma parábola com a concavidade voltada para baixo. Portanto, para se obter um gráfico como este, julgamos necessário, pelo menos 5 pontos espaçados regularmente. Se considerarmos isso, 36 alunos coletaram dados suficientes para a construção do gráfico, enquanto 11 alunos não exploraram, de forma satisfatória, o espaço experimental da investigação.

Figura 6.11 – Histograma da distribuição da frequência dos experimentos.



6.2.2 Utilização de tabela

Além da obtenção de dados suficientes para análise, é importante que os estudantes saibam como tratar os dados coletados. Para maior organização, é necessário que os estudantes representem os dados coletados em tabelas. A utilização de tabelas, além de facilitar a construção de gráficos, facilita a análise e interpretação dos dados. Dos 47 estudantes que realizaram a atividade, 40 representaram os dados coletados em tabela, enquanto 7 estudantes não o fizeram. Obtivemos uma relação importante, entre o número de experimentos realizados e a utilização de tabela. Os estudantes que utilizaram tabela tenderam a realizar mais experimentos do que aqueles que não o fizeram. Tal fato pode ter ocorrido por dois motivos. Primeiro, pelo desconhecimento dos estudantes da necessidade e importância da representação dos dados em tabelas. Segundo, como os estudantes que não utilizaram tabela coletaram uma pequena quantidade de dados, eles não perceberam a necessidade da sua utilização.

6.2.3 Controle de variáveis

Além do número apropriado de dados e da organização dos mesmos em tabelas para facilitar sua análise, um fator decisivo em uma atividade experimental é a qualidade dos dados

coletados. Como a atividade foi realizada por meio da simulação computacional, não houve a ocorrência de erros de medida, sejam eles do instrumento, do operador ou do processo de medida. Mas, mesmo não considerando os erros de medida, a realização de um controle de variáveis efetivo e a sistemática combinação entre as diversas variáveis envolvidas na solução do problema prático são fundamentais para a obtenção de dados confiáveis.

Dos 47 estudantes, 34 revelaram explicitamente, no relatório da atividade, a realização do controle de variáveis. Podemos perceber essa preocupação dos estudantes através de passagens como:

- “Com massas de 10,0 kg e velocidade de 50 m/s em todos os ‘testes’.”
- “Para determinar a relação requerida, permaneci (*sic*) constante a velocidade de lançamento do projétil e sua massa, variando apenas o ângulo de lançamento”
- “Para determinar como o ângulo de lançamento influencia na distância horizontal máxima alcançada pelo objeto, estipulei uma massa e uma velocidade de lançamento fixas para todos os lançamentos: 10kg e 80 m/s.”
- “ Para responder à questão proposta, fixe a velocidade inicial do projétil em 50 m/s e sua massa em 10kg. Fiz testes com os ângulos, variando-os de 0° a 90°, testando múltiplos de 5°.”

Além desses alunos, outros 6 estudantes, apesar de não relatarem explicitamente o controle de variáveis no relatório apresentado, também o realizaram. Tal fato pôde ser verificado pelos dados obtidos por esses estudantes. Sendo assim, no total, 40 estudantes coletaram dados consistentes para a análise. Os outros 7 estudantes não o fizeram e, portanto, tiveram grandes dificuldades para analisar os dados obtidos e responder as questões, como veremos adiante.

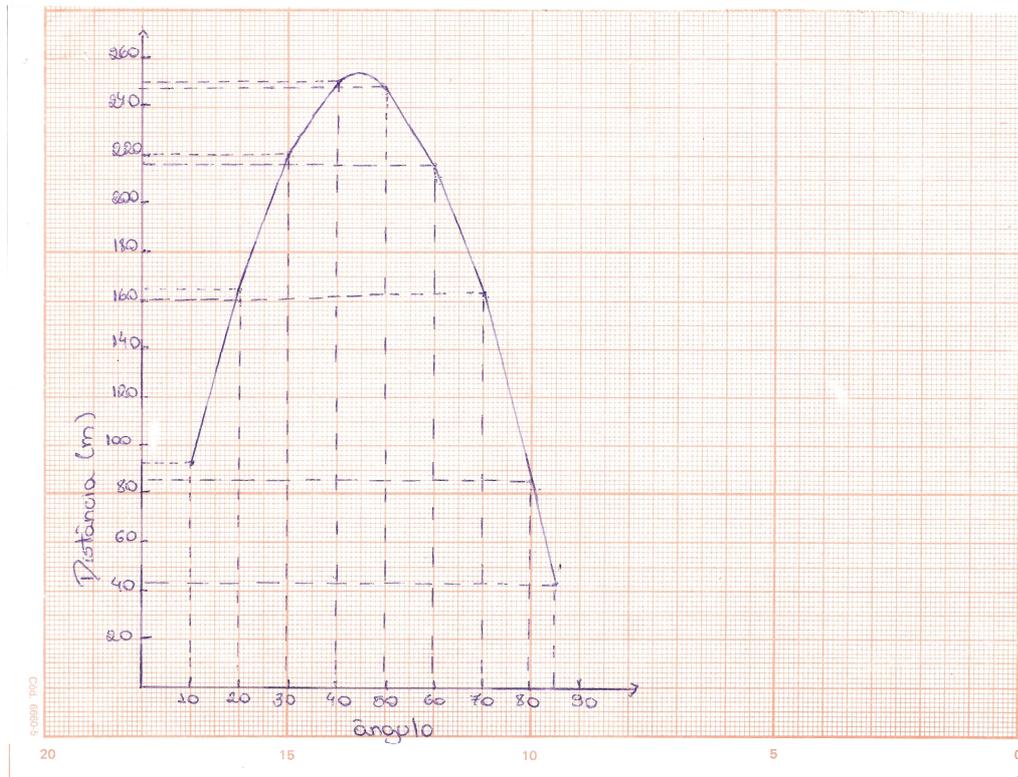
6.2.4 Construção gráfica

O gráfico proposto para os estudantes era do alcance do projétil em função do ângulo entre o lançador e a direção horizontal. Dessa forma, o ângulo deveria ser considerado a variável independente e representado no eixo X, enquanto que o alcance deveria ser considerado a variável dependente e representado no eixo Y.

Dos 47 estudantes que realizaram a atividade, 34 estudantes representaram corretamente os eixos do gráfico. A figura 6.12 ilustra um gráfico corretamente construído por um dos participantes.

Uma dificuldade normalmente enfrentada pelos estudantes é ser capaz de estimar a quantidade de pontos necessários à construção de gráficos. Tal capacidade é fundamental em atividades práticas. Para se traçar uma reta, alguns poucos pontos são suficientes. Porém, quando a relação entre as variáveis não é linear, é necessária a obtenção de uma maior quantidade de dados. Assim, os estudantes devem compreender a importância de escolher um intervalo adequado para os valores das variáveis de forma que o gráfico resultante consista em valores mais ou menos espaçados e que permita a visualização de um padrão como um todo.

Figura 6.12 – Gráfico correto construída por um dos participantes

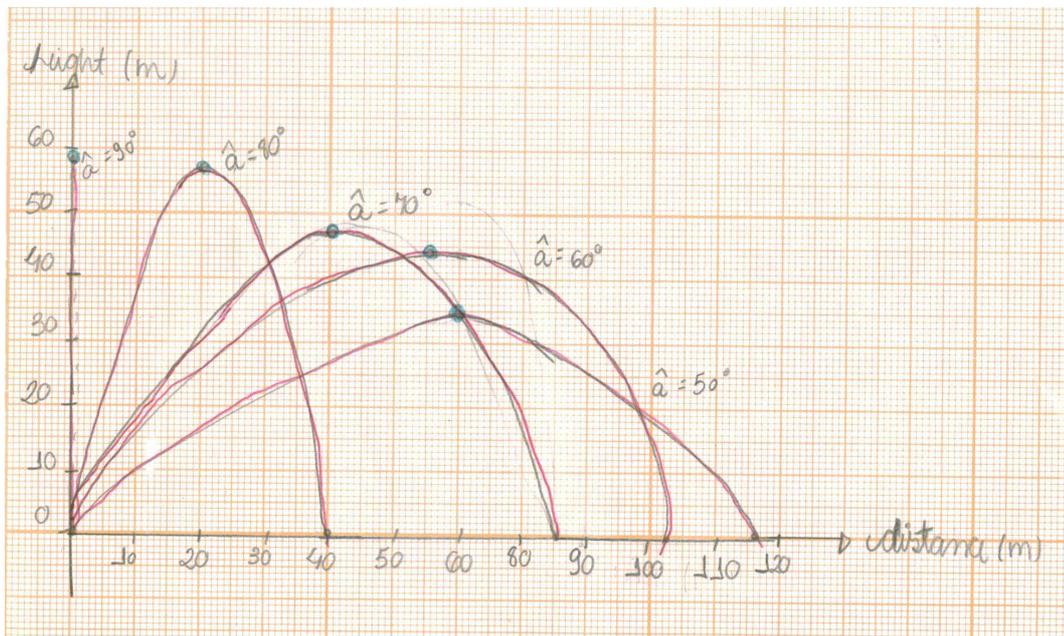


Dois estudantes representaram apenas uma parte do gráfico, devido ao pequeno número de dados coletados. Outros dois estudantes representaram os eixos de maneira invertida, enquanto 11 estudantes representaram outro tipo de gráfico. Como a trajetória do projétil era representada na tela e também era fornecida a altura máxima alcançada pelo projétil, esses 11 estudantes representaram no gráfico a altura máxima em função do alcance. Consideramos essa representação como uma tendência já identificada na literatura, de construir ou interpretar o gráfico como uma representação icônica, ou seja, uma figura ou foto da realidade. Isso pode ser ilustrado pela figura 6.13 abaixo que representa o gráfico feito por um dos participantes da pesquisa.

Se trabalharmos com o applet disponibilizado para os alunos realizarem a atividade, veremos que a imagem fornecida pelo programa se parece muito com o gráfico construído pelo estudante, inclusive, pela denominação dos eixos (em inglês).

Além da representação de outro tipo de gráfico, uma falha comum, apresentada por 8 dos 47 alunos, foi o aproveitamento inadequado do espaço disponível para o gráfico. A escala escolhida por esses estudantes dificultou tanto a representação dos pontos no gráfico, quanto sua posterior análise, pois o gráfico ficou muito pequeno.

Figura 6.13 – Gráfico incorreto construído por um dos participantes



Obtivemos, ainda, que os alunos, de uma forma geral, não tiveram problemas em representar os pontos no gráfico, nem de traçar a curva que melhor se ajustasse aos pontos. Esse último resultado é, de certa forma, surpreendente. Pesquisas indicam que a tendência de ligar os pontos num gráfico através de segmentos de reta é muito forte entre os estudantes. Porém, acreditamos que a representação visual do fenômeno na tela do computador tenha ajudado para que os estudantes não ligassem os pontos com retas. Como o gráfico a ser construído tinha a mesma forma da trajetória do projétil, isso pode ter contribuído para que os estudantes traçassem uma curva no gráfico. Tal fato pode ser corroborado pelas respostas às perguntas, nas quais alguns alunos indicam que o gráfico construído representa uma parábola.

6.2.5 Respostas às questões

Como dissemos, foram propostas aos alunos, três questões para que eles respondessem. As questões eram as seguintes:

- 1) A relação entre o alcance e o ângulo de lançamento é sempre a mesma? Justifique sua resposta.
- 2) Descreva qualitativamente como é a relação entre o alcance e o ângulo de lançamento.
- 3) Existe algum ângulo cujo alcance seja máximo? E mínimo?

Do total de alunos, 33 conseguiram responder satisfatoriamente às três questões propostas e demonstraram uma boa compreensão do objetivo do problema proposto e uma relativa riqueza na análise dos dados coletados e do gráfico, como fica evidenciado nas passagens abaixo:

- “A partir da análise dos dados e do gráfico, pode-se concluir que o alcance do projétil em função do ângulo de lançamento descreve uma função do 2º grau, o que nos diz que para pares de diferentes valores de ângulos teremos o mesmo alcance, que cresce até chegar ao seu valor máximo, para o ângulo de 45° e decresce a partir desse ponto.”
- “Até o ângulo de 45°, sempre que o ângulo crescia, crescia também a distância alcançada. A partir dos 45° a medida que o ângulo crescia, a distância decrescia. O ângulo que traz a maior distância é o de 45°, enquanto os menores são os mais próximos de 0° e 90°.
- “O experimento mostrou que a relação entre o alcance e o ângulo variava. Dependendo do valor do ângulo o valor da distância sofria crescimento ou decrescimento.”

É interessante observar que, desses 33 estudantes que conseguiram analisar os dados corretamente, 31 construíram o gráfico corretamente e dois representaram, de maneira invertida, as grandezas nos eixos coordenados. Isso indica que a correta representação gráfica dos dados coletados em uma atividade investigativa é fundamental para a análise e a interpretação dos dados.

Quatro estudantes conseguiram responder parcialmente às questões e 10 responderam às questões de maneira insatisfatória. Abaixo, exemplificamos algumas respostas desses estudantes:

- “Quando o ângulo é menor a distância é maior. Quando o ângulo é maior, a distância é menor.”
- “Quanto menor for o ângulo, maior será o alcance do projétil; e quanto maior for o ângulo de lançamento, menor será o alcance.”

- “Se aumentar o ângulo, maior será a altura e menor é a distância que ele alcança.”

Dos catorze estudantes que tiveram dificuldades para responder às questões, apenas três construíram bem o gráfico, o que reforça nossa inferência anterior de que a construção do gráfico é um passo importante para a análise e formulação de uma conclusão para o problema.

Assim, percebemos que boa parte dos participantes não teve dificuldades para resolver o problema proposto. Porém, cerca de um terço dos participantes teve grandes dificuldades, seja na construção do gráfico, seja para responder às perguntas propostas.

7 ANÁLISE DOS DADOS II – VISÃO DA CIÊNCIA

Neste capítulo, buscamos identificar as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico. Para isso, analisamos os resultados obtidos com a aplicação dos dois instrumentos. Enfatizamos novamente que o desenvolvimento de concepções mais sofisticadas sobre a natureza da ciência por parte dos estudantes não era um objetivo das atividades de laboratório de física para o primeiro ano. Porém, decidimos por investigar possíveis mudanças nessas concepções ao longo do período letivo, uma vez pesquisadores defendem que a realização de atividades práticas, sobretudo de investigações, contribui para que os estudantes desenvolvam idéias e visões mais sofisticadas sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico (Meichtry, 1998; Moss, Abrams e Robb, 2001; Sandoval e Morrison, 2003).

A única atividade relacionada diretamente às concepções sobre a natureza da ciência foi a primeira atividade realizada no ano. Essa atividade, uma investigação aberta, tinha dentre seus objetivos, problematizar a necessidade de produção da descrição cuidadosa dos fenômenos para auxiliar a compreensão de um fenômeno, a formulação de explicações e a comunicação delas.

Na seção 7.1 apresentamos os resultados do questionário fechado sobre a natureza da ciência. Com esse questionário, buscamos identificar as concepções dos estudantes sobre o que Sandoval (2005) chama de epistemologia formal ou o que Hogan (2000) chama de conhecimento distal sobre a ciência. Ou seja, é o conjunto de idéias e visões dos estudantes sobre os protocolos da ciência, sobre o conhecimento científico, sua produção e validação através da ciência profissional e da atuação dos cientistas. Para analisar esse questionário, realizamos uma análise fatorial para a construção de escalas que permitirão uma discussão mais aprofundada sobre as concepções dos estudantes sobre os diversos aspectos da natureza da ciência.

Na seção 7.2 apresentamos a análise do questionário aberto sobre a natureza da ciência. Nesse questionário, além de investigarmos a epistemologia formal dos estudantes, investigamos também a epistemologia prática (Sandoval) ou o conhecimento proximal (Hogan) sobre a natureza da ciência, ou seja, o conjunto de idéias e concepções que os estudantes possuem sobre a produção do seu próprio conhecimento na escola, durante o

ensino de ciências ou ainda, a compreensão e perspectiva do indivíduo quanto ao seu próprio processo de construção do conhecimento científico.

7.1 Análise do questionário fechado sobre a natureza da ciência

Como vimos no capítulo cinco, aplicamos um questionário com 39 itens que deveriam ser avaliados segundo uma escala Likert. Dessa forma, o estudante, ao responder a qualquer item do questionário, expressa o seu grau de concordância ou discordância com a afirmação feita em uma escala de cinco pontos: (concordo totalmente - CT, concordo parcialmente - CP, não concordo e nem discordo - CD, discordo parcialmente - DP e discordo totalmente - DT). Os itens que expressam uma afirmação sofisticada sobre algum aspecto da natureza da ciência tiveram as respostas quantificadas da seguinte forma: CT – escore 5, CP – escore 4, CD – escore 3, DP – escore 2, DT – escore 1. Os itens 2, 3, 4, 6, 8, 11, 12, 13, 18, 22, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35 e 39 foram quantificados dessa forma. Os itens que expressam uma afirmação ingênua sobre a natureza da ciência tiveram as respostas quantificadas de maneira inversa, ou seja: CT – escore 1, CP – escore 2, CD – escore 3, DP – escore 4, DT – escore 5. Os itens 1, 5, 7, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 25, 32, 36, 37e 38 foram quantificados dessa forma.

Optamos por essa forma de quantificação dos itens, pois, assim, o escore 5 foi sempre atribuído a uma visão mais sofisticada da natureza da ciência e, por consequência, o escore 1 foi sempre atribuído a uma visão mais ingênua sobre o aspecto da ciência avaliado pelo item. Obtivemos assim uma grande escala multidimensional e para analisá-la, optamos por realizar uma análise fatorial.

A análise fatorial tem como objetivo principal descrever a variabilidade dos dados coletados, originalmente em diversas variáveis, em termos de um número menor de variáveis, chamadas de fatores e que estão relacionadas com as variáveis originais por meio de um modelo linear. Esses fatores são desconhecidos a princípio e seu significado depende da interpretação do modelo final. Para a extração dos fatores dos dados coletados, optamos pelo Método dos Componentes Principais (PC – Principal Components). Nesse método, toda a variância da matriz de correlação é levada em consideração. Esse é o método de extração de fatores comumente usado nas pesquisas na área. Utilizamos esse método para podermos comparar a qualidade das escalas obtidas com os resultados de outros trabalhos.

Inicialmente, realizamos a análise fatorial de todo o conjunto dos itens. Porém, como as concepções dos estudantes sobre os aspectos da natureza da ciência abordados no questionário são difusas e extremamente fragmentadas, a solução obtida contava com muitos fatores relacionados e as escalas construídas a partir desses fatores possuíam qualidades psicométricas insatisfatórias.

Optamos por não considerar a análise fatorial feita com todo o conjunto dos itens. Realizamos então um processo iterativo de inclusão e exclusão para o agrupamento dos itens. O critério para a inclusão dos itens nos grupos foi a semelhança entre o aspecto da natureza da ciência que os itens abordavam. Através do agrupamento dos itens relacionados foi possível verificar se cada um dos grupos formados geraria um único fator, ou seja, mensuraria uma única dimensão. Por meio da análise fatorial e da análise das características da escala resultante, os itens que não satisfiziam as condições necessárias eram eliminados. A tabela 7.1 resume as condições psicométricas mínimas consideradas para a manutenção dos itens nos grupos.

Tabela 7.1 – Condições psicométricas mínimas adotadas

Condições	Mínimo aceitável
KMO¹⁴	0,60
Carga Fatorial	0,60
Comunalidade	0,40
Correlação item-total	0,36
Alfa de Cronbach	0,60

Para a seleção e agrupamento dos itens, utilizamos os dados dos 161 estudantes que realizaram os dois testes. Foram agrupados um total de 11 itens em 3 grupos. Diversos outros itens foram incorporados em outros grupos que não satisfizeram as condições mínimas aceitáveis e, portanto, foram excluídos da análise. A seguir, descrevemos e analisamos os grupos obtidos.

¹⁴ KMO - Kaiser-Meyer-Olkin - Esse coeficiente, segundo Mingoti (2005), indica a adequação dos dados ao ajuste de um modelo fatorial.

7.1.1 Análise dos grupos e construção das escalas

O processo de agrupamento dos itens resultou na formação de apenas três grupos com qualidades psicométricas satisfatórias. A tabela 7.2 descreve, de maneira organizada, os grupos criados, bem como os aspectos da natureza da ciência abordados e os itens pertencentes a cada grupo.

Tabela 7.2 – Aspectos da natureza da ciência identificados na análise fatorial

Aspecto	Itens
Ciência como verdade absoluta	1, 23, 25
O processo de experimentação	2, 5, 28, 34
Influência da teoria sobre a experimentação	22, 24, 26, 32

Passaremos agora a descrever, em detalhes, a construção das escalas para um dos aspectos identificados. Para isso, apresentamos os resultados da análise fatorial de cada grupo, para confirmarmos a unidimensionalidade da escala criada e também fornecemos informações adicionais que nos possibilitam a comparação entre o resultado dos estudantes no pré- e no pós-teste.

7.1.1.1 A ciência como verdade absoluta

Acreditamos que os estudantes devem reconhecer que a ciência é uma das maiores conquistas da humanidade. Sendo assim, é um empreendimento essencialmente humano, que vem sendo construído, desenvolvido e modificado ao longo da história da humanidade, principalmente nos últimos séculos. Porém, apesar de gozar de um grande prestígio e status em nossa sociedade, a ciência é uma das possíveis interpretações da realidade que possuímos. Há diversos exemplos na história da ciência que demonstram equívocos e explicações inadequadas para diversos fenômenos naturais. Portanto, a crença na ciência como uma verdade absoluta, capaz de revelar, mesmo que a médio ou longo prazo TODOS os segredos do universo é ingênua e típica do senso comum. Espera-se que os estudantes desenvolvam perspectivas mais críticas e céticas sobre esse aspecto.

Os itens 1, 23 e 25 do questionário avaliam essa visão dos estudantes:

Item 1: A Ciência pode provar qualquer coisa, resolver qualquer problema, ou responder a qualquer pergunta.

Item 23: É apenas uma questão de tempo para que a Ciência atinja a verdade absoluta sobre o universo.

Item 25: A Ciência é a única visão de mundo correta que possuímos.

A análise fatorial realizada somente com os três itens confirmou a unidimensionalidade entre eles. Os detalhes da extração fatorial pelo Método dos Componentes Principais do pré e do pós-teste estão na tabela 7.3.

Tanto no pré, quanto no pós-teste, apenas um fator foi extraído, com autovalor maior que um, que explica, respectivamente, 55,5% e 66,7% da variância dos itens nos testes. Os valores do coeficiente KMO obtidos também foram satisfatórios (0,63 para o pré-teste e 0,69 para o pós-teste). A tabela 7.3 apresenta as cargas fatoriais e as comunalidades de cada item.

Tabela 7.3 – Extração dos fatores – Ciência como verdade absoluta

Fatores	Pré-teste			Pós-teste		
	Autovalores Total	Variância (%)	Cumulativa (%)	Autovalores Total	Variância (%)	Cumulativa (%)
1	1,67	55,5	55,5	2,00	66,7	66,7
2	0,72	24,1	79,6	0,55	18,3	85,0
3	0,61	20,4	100,0	0,45	15,0	100,0

Podemos ver que as cargas fatoriais e as comunalidades são elevadas. No pré-teste, a carga fatorial mínima foi de 0,70, o que resulta em uma comunalidade de 0,49 (carga fatorial ao quadrado), ou seja, para o **item 1**, 49% da variância interna desse item pode ser atribuída ao fator. No pós-teste, a menor carga fatorial foi de 0,80, o que representa uma comunalidade de 64%.

Tabela 7.4 – Cargas fatoriais e comunalidades – Ciência como verdade absoluta

Itens	Pré-teste		Pós-teste	
	Carga Fatorial	Comunalidade	Carga Fatorial	Comunalidade
1	0,70	0,49	0,80	0,64
23	0,76	0,57	0,84	0,71
25	0,77	0,59	0,81	0,66

Para a construção da escala, analisamos a correlação entre os itens e também a correlação item-total. Os valores estão na tabela 7.5. As correlações entre os itens variaram de 0,29 a 0,39 e a correlação item-total mínima foi de 0,36 no pré-teste. No pós-teste, as

correlações foram mais elevadas, variando de 0,45 a 0,54 entre os itens e a correlação item-total mínima obtida foi de 0,55.

Tabela 7.5 – Matriz de correlação – Ciência como verdade absoluta

Itens	Pré-teste			Pós-teste		
	1	23	25	1	23	25
1	1,00			1,00		
23	0,29	1,000		0,51	1,000	
25	0,31	0,39	1,00	0,45	0,54	1,00
Total	0,36	0,42	0,44	0,55	0,61	0,57

Esses dados justificam a construção da escala, somando-se o escore dos estudantes nos três itens. É importante ressaltar que, apesar das afirmações presentes nos itens serem concepções ingênuas sobre a natureza da ciência, quanto maior o escore total, mais sofisticada é a visão do estudante, ou seja, ele rejeita a crença de que a ciência como uma verdade absoluta. Na tabela 7.6 estão os dados das escalas criadas. O resultado dos estudantes no pós teste foi superior – $Z(161) = -2,747$, $p = 0,006^{15}$. No pré-teste, a média foi de 11,9, a mediana 12 e 21,7% dos estudantes obtiveram o escore máximo de 15 pontos. No pós-teste, a média elevou-se para 12,3 e a mediana para 13. Além disso, 27,9% dos estudantes alcançaram o escore máximo. Podemos observar pelos valores das tabelas 7.5 e 7.6, que a escala gerada no pós-teste é mais robusta que a do pré-teste, o que indica que, no pós-teste, os alunos foram mais coerentes ao avaliar os itens.

Tabela 7.6 – Estatística descritiva – Ciência como verdade absoluta

Teste	Alfa de Cronbach	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mediana	Moda
Pré-teste	0,60	5	15	11,9	2,6	12	15 (35)
Pós-teste	0,75	5	15	12,3	2,7	13	15 (45)

Investigamos a influência dos professores para as diferenças produzidas entre os testes. O teste de Kruskal-Wallis verificou que não havia diferenças significativas, no pré-teste, entre os alunos das turmas de cada professor - $H(161,3) = 6,059$, $p = 0,109$. Porém, no pós-teste, obtivemos uma diferença significativa no desempenho entre os grupos de alunos de

¹⁵ Escore Z calculado através do Teste de Postos de Wilcoxon.

cada professor - $H(161,3) = 10,778$, $p = 0,013$, que pode sugerir a influência da atuação de cada professor. Como os itens que compunham o teste não foram abordados diretamente nas atividades em laboratório, nem estavam previstos como conteúdos programados para as aulas teóricas, a abordagem dos tópicos contemplados nos itens acima depende muito do professor e de sua atuação no laboratório e em sala de aula.

7.1.1.2 Relação entre teoria e evidência

Talvez o aspecto mais ressaltado da natureza da ciência, com implicações imediatas no ensino de ciências seja a relação entre teoria e evidência. Como vimos no capítulo 3, pesquisadores na área de ensino de ciências e da cognição pesquisam a habilidade dos estudantes em diferenciar e relacionar teoria e evidência. Para que o estudante seja capaz de fazer isso, ele deve ter consciência de que a ciência depende da base empírica e que o desenvolvimento do conhecimento científico envolve a realização de experimentos e observações da natureza. Mas, qualquer planejamento experimental envolve uma teorização sobre o objeto observado e investigado. Portanto, todo o processo de concepção e execução do experimento e, posteriormente, a avaliação e análise dos dados obtidos é influenciado pelas idéias e teorias dos cientistas.

O processo de agrupamento formou dois grupos de itens relacionados à habilidade dos estudantes em diferenciar e relacionar teoria e evidência durante todo o processo de experimentação. Tais grupos serão analisados a seguir.

7.1.1.2.1 O processo de experimentação

Para obtermos informações sobre as concepções dos estudantes sobre a influência das teorias sobre o processo de experimentação, utilizamos os itens 2,5,28 e 34.

Item 2: O planejamento de um experimento depende da teoria sobre o objeto que está sendo investigado.

Item 5: Um experimento é planejado para ver o que acontece e, portanto, não depende da teoria sobre o objeto que está sendo investigado.

Item 28: O conhecimento científico não emerge simplesmente dos dados experimentais. Os dados devem ser interpretados e analisados à luz de alguma teoria.

Item 34: O principal objetivo de um experimento científico é testar uma hipótese, idéia ou teoria.

A análise fatorial dos quatro itens acima (tabela 7.7) gerou apenas um fator com autovalor maior que um e que explica cerca de 53% da variância dos itens no pré teste e 50%

no pós-teste. Os valores do coeficiente KMO obtidos foram satisfatórios (0,68 para o pré-teste e 0,71 para o pós-teste).

Tabela 7.7 – Extração dos fatores – Processo de experimentação

Fatores	Pré-teste			Pós-teste		
	Autovalores Total	Variância (%)	Cumulativa (%)	Autovalores Total	Variância (%)	Cumulativa (%)
1	2,14	53,4	53,4	2,00	50,1	50,1
2	0,80	20,1	73,5	0,80	19,9	70,0
3	0,65	16,2	89,7	0,63	15,8	85,8
4	0,41	10,3	100,0	0,57	14,2	100,0

As cargas fatoriais de cada item, bem como suas comunalidades estão representadas na tabela 7.8. Os valores obtidos são aceitáveis. A carga fatorial mínima obtida no pré-teste foi de 0,66 e no pós-teste, de 0,64. Esses valores das cargas fatoriais garantiram uma comunalidade mínima de 43% no pré e 42% no pós-teste entre a variância dos itens e do fator extraído.

Tabela 7.8 – Cargas fatoriais e comunalidades – Processo de experimentação

Itens	Pré-teste		Pós-teste	
	Carga Fatorial	Comunalidade	Carga Fatorial	Comunalidade
2	0,80	0,63	0,73	0,54
5	0,77	0,59	0,64	0,42
28	0,66	0,43	0,75	0,56
34	0,70	0,49	0,70	0,49

As correlações obtidas estão descritas na tabela 7.9. Podemos ver que, no pré-teste, a correlação item-total mínima foi de 0,41 e as correlações entre os itens variaram entre 0,30 e 0,56. No pós-teste, a correlação item-total mínima foi de 0,39 e as correlações entre os itens variaram entre 0,22 e 0,41.

Tabela 7.9 – Matriz de correlações – Processo de experimentação

Itens	Pré-teste				Pós-teste			
	2	5	28	34	2	5	28	34
2	1,00				1,00			

5	0,56	1,00			0,35	1,00		
28	0,30	0,33	1,00		0,36	0,31	1,00	
34	0,40	0,30	0,37	1,00	0,35	0,22	0,41	1,00
Total	0,58	0,54	0,41	0,46	0,48	0,39	0,49	0,43

Analisando os dados da tabela 7.10, podemos ver que houve diferença nos resultados do pré e do pós-teste – $Z(161) = -3,543$, $p < 0,001$. Os valores de alfa de Cronbach obtidos foram razoáveis. No pré-teste, a média foi de 16,9. O menor escore registrado foi 6, a mediana 18, 23,6% dos estudantes obtiveram o escore 19 e 24 estudantes obtiveram o escore máximo. No pós-teste, a média foi inferior (16,1). O menor escore registrado aumentou para 8, mas 18,6% dos estudantes marcaram apenas 17 pontos e apenas 14 alunos obtiveram o escore máximo.

Tabela 7.10 – Estatística descritiva – Processo de experimentação

Teste	Alfa de Cronbach	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mediana	Moda
Pré-teste	0,70	6	20	16,9	2,8	18	19 (38)
Pós-teste	0,66	8	20	16,1	2,6	16	17 (30)

Também investigamos a influência dos professores para tentar explicar a diferença nos resultados dos testes. No pré-teste, não havia diferenças no desempenho dos estudantes - $H(161,3) = 2,752$, $p = 0,431$. Porém, no pós-teste, verificamos uma diferença significativa, quando agrupamos os alunos de acordo com os quatro professores - $H(161,3) = 7,494$, $p = 0,058$.

7.1.1.2.2 Influência da teoria sobre a experimentação

Os itens 22, 24, 26 e 32 do questionário avaliam se os estudantes possuem o conhecimento de que as teorias e concepções dos cientistas influenciam de maneira decisiva na forma como eles planejam e executam os experimentos e, principalmente no modo como eles analisam as evidências produzidas:

Item 22: As idéias e teorias dos cientistas influenciam o planejamento da coleta de dados nos experimentos.

Item 24: O trabalho dos cientistas é influenciado pela sua cultura e pelas instituições às quais eles são filiados.

Item 26: As expectativas e concepções dos cientistas influenciam nas suas interpretações dos obtidos através de uma experiência.

Item 32: Os cientistas deixam suas idéias e teorias de lado quando planejam a coleta de dados nos experimentos.

A análise fatorial dos quatro itens resultou na extração de apenas um fator com autovalor maior que um, confirmando a unidimensionalidade entre eles. Os dados da tabela 7.11 demonstram que o fator extraído explica 51% da variância no pré e cerca de 50% no pós-teste. Os valores do coeficiente KMO obtidos também foram satisfatórios (0,74 para o pré-teste e 0,71 para o pós-teste).

Tabela 7.11 – Extração dos fatores – Teoria e experimentação

Fatores	Pré-teste			Pós-teste		
	Autovalores Total	Variância (%)	Cumulativa (%)	Autovalores Total	Variância (%)	Cumulativa (%)
1	2,04	51,0	51,0	2,00	50,1	50,1
2	0,68	17,1	68,1	0,79	19,9	70,0
3	0,64	16,1	84,2	0,64	15,9	85,9
4	0,63	15,8	100,0	0,56	14,1	100,0

Na tabela 7.12 estão as cargas fatoriais e as comunalidades de cada item. No pré-teste, a carga fatorial mínima foi de 0,69. No pós-teste, foi de 0,65, o que garante uma variância comum mínima de 42%.

Tabela 7.12 – Cargas fatoriais e comunalidades – Teoria e experimentação

Itens	Pré-teste		Pós-teste	
	Carga Fatorial	Comunalidade	Carga Fatorial	Comunalidade
22	0,72	0,52	0,75	0,57
24	0,72	0,51	0,65	0,42
26	0,69	0,48	0,72	0,51
32	0,73	0,53	0,71	0,50

Os dados da tabela 7.13 mostram que as correlações entre os itens no pré-teste variaram de 0,33 a 0,36 e a menor correlação item-total foi de 0,44. Já no pós-teste, as correlações item-item variaram entre 0,24 e 0,43, enquanto que a correlação mínima item-total foi de 0,39.

Tabela 7.13 – Correlações – Teoria e experimentação

Itens	Pré-teste				Pós-teste			
	22	24	26	32	22	24	26	32
22	1,00				1,00			
24	0,36	1,00			0,31	1,00		
26	0,33	0,33	1,00		0,35	0,35	1,00	
32	0,36	0,36	0,34	1,00	0,43	0,24	0,32	1,00
Total	0,47	0,46	0,44	0,48	0,50	0,39	0,46	0,44

Construímos a escala utilizando os quatro itens e analisamos o desempenho dos estudantes no pré- e no pós-teste (tabela 7.14). Os valores para o alfa de Cronbach obtidos foram razoáveis, dado o pequeno número de itens que compuseram as escalas. Os resultados dos estudantes nos testes não apresentaram diferenças significativas.

No pré-teste, o escore mínimo obtido foi 6, a média foi de 13,9, enquanto 15,5% dos estudantes obtiveram escore 16. Já no pós-teste, o escore mínimo foi 4, a média foi um pouco superior (14,1) e 18,0% dos estudantes fizeram 16 pontos. Para essa escala, não obtivemos diferenças significativas quando agrupamos os alunos de acordo com seus respectivos professores.

Tabela 7.14 – Estatística descritiva – Teoria e experimentação

Teste	Alfa de Cronbach	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mediana	Moda
Pré-teste	0,68	6	20	13,9	3,1	14	16 (25)
Pós-teste	0,67	4	20	14,1	2,9	14	16 (29)

Mesmo realizando a análise fatorial individualmente em grupos de itens que abordavam o mesmo aspecto sobre a natureza da ciência, muitos grupos não alcançaram as qualidades psicométricas mínimas estabelecidas. A baixa qualidade dos instrumentos utilizados é justamente uma das críticas que autores fazem em relação à pesquisa na área (Blalock e colaboradores, 2008).

A qualidade das escalas que obtivemos é similar à escalas obtidas em outras pesquisas. Wood e Kardash (2002) investigaram as concepções epistemológicas de 739 jovens e adultos (média de 22,35 anos). O instrumento utilizado foi construído a partir do

questionário desenvolvido por Schommer (1990) e por alguns itens adicionais. A análise fatorial realizada produziu cinco fatores que explicava apenas 22,05% da variância total. As cargas fatoriais obtidas variaram de 0,32 a 0,70 e por conseqüência, as comunalidades dos itens variaram entre 0,12 e 0,44. As cinco escalas produzidas eram formadas por 3 a 11 itens e os valores do alfa de Cronbach das escalas variaram de 0,54 a 0,76.

Schraw, Bendixen e Dunkle (2002) também investigam as concepções 160 universitários sobre a natureza e aquisição do conhecimento. O instrumento desenvolvido contava com 28 itens, alguns presentes também no questionário de Schommer (1990) e aproximadamente 75% elaborados para a pesquisa. A análise fatorial revelou cinco fatores. As cargas fatoriais dos itens em seus respectivos fatores variaram entre 0,30 e 0,78. As escalas construídas apresentavam três itens e apresentaram valores do alfa de Cronbach entre 0,58 e 0,68.

Stathopoulou e Vosniadou (2007) desenvolveram um instrumento para identificar as concepções epistemológicas específicas sobre física de 394 estudantes gregos com média de idade de 15,22 anos. O instrumento foi composto por 40 itens e ainda 10 questões de debate. A análise fatorial extraiu 4 fatores que explicavam 26% da variação total dos dados. As cargas fatoriais dos itens nos seus respectivos fatores variaram de 0,30 a 0,64. As escalas foram construídas com um número de itens que variou de 4 a 10. Os valores do alfa de Cronbach para as escalas construídas variaram de 0,56 e 0,67.

7.1.2 Análise qualitativa dos itens do questionário

Como forma de corroborar os resultados obtidos com o questionário, realizamos entrevistas com alguns alunos para esclarecer melhor suas concepções sobre determinados itens. Os itens para discussão com cada aluno foram selecionados a partir de suas respostas de cada aluno ao questionário fechado.

Para melhor discussão e apresentação dos resultados, agrupamos os itens de acordo com o aspecto da natureza da ciência que eles abordam.

Ciência como verdade absoluta

Item 1: A Ciência pode provar qualquer coisa, resolver qualquer problema, ou responder a qualquer pergunta.

“Não. Tanto que pode chegar alguém e mostrar que o que a gente acreditava até hoje está errado.”

Item 23: É apenas uma questão de tempo para que a Ciência atinja a verdade absoluta sobre o universo.

“Eles nunca vão chegar numa verdade absoluta. Eles vão construindo modelos, mas nunca será a realidade. Podem chegar próximo.”

“Não. O conhecimento é infinito. Como a ciência vai provar o que acontece com a pessoa depois que ela morre?”

Item 25: A Ciência é a única visão de mundo correta que possuímos.

“Na minha opinião sim. Tipo...a religião pode explicar também, do jeito dela, mas sem comprovar. A ciência baseia-se nas observações e na comprovação das teorias. A religião é uma coisa inventada.”

Os alunos não tiveram problemas em reconhecer as limitações da ciência, afirmando que o conhecimento é infinito e que os cientistas nunca chegarão à verdade absoluta. Além disso, reconhecem as diferenças epistemológicas básicas entre a ciência e Religião, sendo a primeira baseada em observações e comprovação/refutação das afirmações de conhecimento e a segunda, baseada na fé de seus seguidores.

O fazer ciência e o trabalho científico

Item 4: O ato de fazer Ciência requer criatividade e intuição.

“Eu acho que requer sim. Você tem os resultados, você precisa encontrar uma maneira de analisá-lo.”

“A ciência é mais trabalho duro, estar concentrado naquilo que faz, com força de vontade.”

“Acho que sim. Você tem que pensar, explicar as coisas, pensar no porquê. E também um pouco de sorte eles têm que ter. O cientista tem que ser curioso também.”

“Com certeza. Mais que tudo. Senão o cientista não teria utilidade. Qualquer pessoa que pegasse um manual saberia fazer ciências.”

Item 17: O trabalho científico se limita a seguir rigorosamente passos e processos pré-estabelecidos.

“Não. Tem as regras, o que pode, o que não pode. Mas se a pessoa quer realmente descobrir algo novo, ela tem que ‘quebrar um pouco as regras’, fazer algo novo, para ir além e descobrir as coisas.”

Item 19: O aspecto mais importante do trabalho científico são as medições precisas e o trabalho cuidadoso.

“Com certeza. Não adianta nada fazer de qualquer jeito. Tem que ter precisão, um trabalho bem cuidadoso.”

“Não. O mais importante é saber interpretar. Isso é um passo importante para você chegar num resultado mais confiável, mais preciso, que seja bom. Se você for pensar só nisso, você não descobre nada. Eles tem que pensar no porquê.”

P- “Para uma pessoa ser um bom cientista, qual é mais importante: as medições precisas ou a criatividade e intuição.”

“Os dois, por mais precisão que ele conseguir, ele vai ter que tirar conclusões a partir dessas medidas. As medidas são importantes. Sem medidas não há ciência. Mas a ciência é feita de conclusões a partir das medidas.”

Percebe-se que parte dos estudantes reconhece que o trabalho dos cientistas envolve criatividade, principalmente para explicar os fenômenos. Porém, sobre o aspecto mais importante do trabalho científico, alguns alunos insistem em afirmar que são as medições precisas e o trabalho cuidadoso. Outros alunos reconhecem que ao fazer ciência, tanto a criatividade, quanto o trabalho cuidadoso, são igualmente importantes.

Item 8: Os cientistas podem acreditar em Deus e ainda sim serem bons cientistas.

“São coisas independentes. O cientista pode ser muito religioso e também ser um excelente cientista.”

“Acho que não tem nada haver. Não interfere em nada.”

“Poder pode, não deixando interferir no seu trabalho.”

Item 12: A Ciência é influenciada pela raça, gênero, nacionalidade ou religião dos cientistas.

“Tudo isso influencia. Se nenhum cientista fosse influenciado por isso, todos seriam iguais, todos iriam pensar da mesma forma. Se nenhum é influenciado por nada, logo seriam iguais. Cada um tem a mente formada, depende da sua sociedade.”

“Se ele for um bom profissional não. Se ele não deixar isso influenciar na hora em que ele estiver fazendo os experimentos, as tarefas deles, se não considerar as crenças pessoais dele nessa hora.”

Esses dois itens revelam a dificuldade de se tentar identificar as concepções dos estudantes por meio de instrumentos fechados, nos quais os alunos não têm a oportunidade de expor o que pensam realmente sobre determinado aspecto da natureza da ciência.

Alguns alunos entendem que a opção religiosa do cientista não interfere em seu trabalho. Outros afirmam que o cientista não pode se deixar influenciar por isso. Mas, poucos alunos possuem a visão sofisticada apresentada na primeira resposta ao **Item 12**. Segundo esse aluno, a raça, gênero, nacionalidade e religião compõem a cultura e definem o comportamento da sociedade na qual o cientista está inserido, influenciando-o em tudo o que faz. Portanto, as questões de pesquisa, os métodos utilizados e a interpretação dos resultados são influenciados pelo contexto no qual o pesquisador está inserido.

Porém, alguns alunos interpretam essa influência de maneira limitada. Para eles, a influência se daria quando os cientistas estivessem fazendo suas atividades rotineiras. Sendo assim, eles acreditam que um ‘bom’ cientista não deve ser influenciado por esses fatores durante seu trabalho.

Item 14: O desacordo entre os cientistas é uma das fraquezas da Ciência.

“Eu acho que é uma vantagem. Por exemplo. Eu discordo do que você falou. O que você vai querer fazer? Estudar mais ainda, alcançar aquele objetivo, para mostrar que eu estou errado. Acho que é para a pessoa ter mais vontade de pesquisar, adquirir mais conhecimento para provar que a outra pessoa está errada.”

“Eu acho que é uma vantagem. A partir desses desacordos que eles vão discutindo e descobrindo o que pode estar errado, o que pode estar certo.

“É uma vantagem. Porque cada um quer provar o que ele está pensando. Rivalidade gera, às vezes, as pessoas se dedicarem mais.”

“Se Galileu não discordasse de Aristóteles, teríamos continuado com aquela visão da Terra.”

Os alunos entrevistados reconheceram que o desacordo entre os cientistas é um fator importante para o desenvolvimento da ciência, servindo de motivação para que os cientistas pesquisem mais e obtenham mais evidências que suportem seus pontos de vistas.

O conhecimento científico

Item 6: A Ciência fornece respostas temporárias para as perguntas.

“Eu acho que sim, porque ela está sempre estudando, fornecendo respostas novas para os problemas.”

Item 10: O conhecimento científico é estático e não está sujeito a mudanças.

“O conhecimento científico pode mudar, com certeza. Toda teoria é válida até que se prove o contrário dela.”

Item 27: Novos conhecimentos científicos são construídos a partir de conhecimentos já adquiridos.

“É parcial. Muitas vezes parte do conhecimento já tinha. Mas também tem caso que parte de algo novo, mas sempre tem alguma influência do conhecimento anterior. Mas às vezes você vai em direção contrária, para provar o que o conhecimento anterior estava errado.”

Os alunos entrevistados não apresentaram problemas em reconhecer que o conhecimento científico está sujeito a mudanças e que novas teorias podem substituir teorias antigas. Porém, a resposta ao **Item 27** revela novamente a dificuldade de se identificar as concepções dos estudantes com instrumentos que ‘forçam’ a resposta do estudante. Ao iniciar sua fala, poderíamos avaliar que o estudante concorda parcialmente com o item. Porém, o estudante deixa claro que mesmo que o cientista faça algo novo, sempre haverá a influência do conhecimento anterior. Para que ele demonstre que o conhecimento anterior estava errado o cientista precisa conhecê-lo em detalhes.

Item 20: O conhecimento científico se baseia somente em observações.

“Você tem que observar e tirar conclusões a partir dos dados. Tem uma parte mais dedutiva. Você tem os resultados, você tem que descobrir porque os resultados são assim e não apenas dizer que são assim.”

Item 37: Todo conhecimento científico é obtido através da experimentação.

“Não todo. Tem a parte teórica também. Tem haver com a teoria também.”

Item 28: O conhecimento científico não emerge simplesmente dos dados experimentais. Os dados devem ser interpretados e analisados à luz de alguma teoria.

“Alguns têm que ser analisados à luz de uma teoria. Mas, outros, vão precisar de novas teorias. Não adianta eles martelarem com uma teoria antiga para explicar os resultados, eles não vão entender direito. Eles vão precisar de novas teorias.”

Os estudantes entrevistados reconhecem que as atividades de observação e experimentação são apenas uma parte do trabalho dos cientistas. Após coletarem os dados, os cientistas precisam analisá-los e interpretá-los. Nesse momento, os estudantes reconhecem que os cientistas precisam se orientar pelas teorias para explicar os dados obtidos.

Teoria e experimentação

Item 2: O planejamento de um experimento depende da teoria sobre o objeto que está sendo investigado.

“Eu coloquei que discordo? Eu acho que talvez precise sim. Se eu for utilizar uma bolinha de borracha, por exemplo, eu preciso saber as características dela para usá-la. Então acho que precisa sim. Eu preciso saber das propriedades dela, da teoria sobre o objeto para planejar o experimento, como será o contato dela com outro objetivo, como vai reagir com outro material.”

“Influencia. Porque você faz um experimento de acordo com aquela teoria, já prevendo alguns resultados.”

Item 36: Os cientistas realizam experimentos para ver o que acontece. A partir dos experimentos eles constroem teorias e leis.

“Depende do caso. Algumas vezes eles podem realizar experimentos mais ao acaso, para observar o que acontece e tirar conclusões. Tem vez que eles fazem para confirmar as teorias que eles já possuem ou observar alguma coisa que deu errado.”

“O cientista precisa de uma teoria para poder ter a idéia de fazer o experimento. Tem que ter a teoria antes, o que ele quer é comprovar a teoria.”

Os estudantes também reconhecem que a realização de um experimento não é um evento aleatório, mas fruto da necessidade que as teorias dos cientistas impõem. Sendo assim, os cientistas precisam, de antemão, uma teoria para conceber o experimento e, posteriormente, analisar os dados.

Item 18: Conclusões diferentes e legítimas podem ser obtidas a partir do mesmo conjunto de dados.

“Essa é a parte que precisa de criatividade. Os dados em si não querem dizer nada, depende de como você avalia. Cada um pode tirar uma conclusão diferente, dependendo do ponto de vista, dependendo da prioridade que ele dá a algum aspecto dos dados.”

“Pode. Cada um tem uma visão diferente, então a visão de cada um vai influenciar nas conclusões.”

“A ciência não parte das idéias? Você não parte de algo que você já sabe? Então. Podem sim chegar a conclusões diferentes.”

Os estudantes admitem que conclusões diferentes possam ser alcançadas a partir de um mesmo conjunto de dados. Durante as aulas de laboratório, salvo raras exceções, apenas os resultados experimentais são discutidos e comentados. Portanto, é mais fácil para os estudantes perceberem que um conjunto de dados pode, muitas vezes, ser interpretado de várias maneiras.

As respostas desse item estão de acordo com as respostas fornecidas para os itens 4 e 20. Se a análise dos dados depende da interpretação dos cientistas, é possível que cientistas diferentes possam elaborar conclusões diferentes. A primeira resposta ao **Item 18** revela uma sofisticação nas crenças do estudante ao afirmar que os dados em si não dizem nada e que as conclusões podem ser diferentes devido à diferentes prioridades que os cientistas dão a determinados aspectos dos dados.

Item 21: Leis e teorias científicas existem independentemente da existência humana. Os cientistas apenas as descobrem.

“As leis científicas existem, elas realmente acontecem. Elas são descobertas. As coisas acontecem independentemente do ser humano perceber ou não. A questão é a percepção dele. O que conhecemos como leis e teorias são as conclusões que eles tiram. As leis de Newton existiam, Newton descobriu. Mas pode ser que ele tenha descoberto algo errado, as causas do fenômeno, as conseqüências. A lei da Inércia. Ela acontece, os corpos se comportam dessa

maneira independente do homem ter descoberto ou não. Pode ser que ele tenha pensado de uma maneira que não é, ter tirado conclusões erradas.”

“As leis existem. Os cientistas vão lá, observam aquilo e nos informam daquilo que já existia há muito tempo.”

“Tudo acontece já. Newton não inventou a gravidade. As leis são modelos que foram criados. Nunca é a realidade. O que Newton fez foi explicar as coisas.”

“As leis já existiam. Newton viu as relações e viu o que já acontecia, colocou no papel e provou que era uma lei.”

“Não é que estava escrito lá que tem a lei da ação e reação, por exemplo. O fenômeno ocorre, ele já existe. Ninguém pára para pensar ou falar. Quem dá o nome para ele e explica é o homem. Ninguém inventou que quando a gente bater na mesa, nossa mão vai doer porque a mesa vai fazer uma força em nós.”

“As leis e teorias são criações dos cientistas para explicar o que acontece. As coisas sempre existiram. Gravidade sempre existiu, inércia sempre existiram, as coisas sempre se comportaram dessa maneira. Newton criou as teorias para tentar explicar o que acontece. Ele observou e foi ele que criou a explicação.

O **Item 21** foi, sem dúvida, aquele gerou o maior número de más interpretações entre os entrevistados. Apenas um aluno entrevistado colocou no questionário que discordava completamente com o item. Os demais alunos concordaram completamente com a afirmação do item.

Porém, podemos ver pela maioria das respostas dos estudantes que suas concepções sobre as leis e teoria da ciência são sofisticadas. Para contextualizar a pergunta, utilizamos as Leis de Newton como exemplo de leis e teorias científicas. Por serem alunos do primeiro ano do ensino médio, as Leis de Newton são as leis mais conhecidas da Física entre esses alunos. A maioria dos alunos quis expressar, com suas palavras, que os fenômenos naturais ocorrem independentemente da observação humana, mas que as leis e teorias científicas são modelos e formas encontradas pelos cientistas de explicar tais fenômenos.

O resultado dessas entrevistas foi similar ao obtido por Lederman e O'Malley (1990). Ao invés de confirmarmos as concepções dos estudantes, obtivemos que muitos, na entrevista, disseram o oposto que haviam marcado no questionário. Grande parte das respostas dos alunos nos itens também sugere que os estudantes entrevistados possuem concepções relativamente sofisticadas sobre os aspectos da natureza da ciência contemplados nos itens. Tais resultados sugerem que a utilização de instrumentos de pesquisa mais abertos como entrevistas ou gravações da discussão em grupos das afirmativas apresentadas são mais

precisos para identificar as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência (Kelly, Chen e Crawford, 1998; Lederman, 1992).

7.2 Análise do questionário aberto sobre a natureza da ciência

Como vimos no capítulo 5, para podermos obter mais informações sobre as concepções sobre a natureza da ciência dos estudantes, aplicamos também um questionário aberto, composto de um conjunto de três questões. Diferentemente do questionário anterior, no qual abordamos apenas o conhecimento distal dos alunos sobre a natureza da ciência, no questionário aberto exploramos também aspectos do conhecimento proximal, ou seja, o conhecimento sobre a natureza da ciência relacionado diretamente com o ensino de ciências.

A aplicação de um questionário aberto é importante, pois fornece ao estudante uma maior liberdade para expor suas idéias e concepções. O questionário era composto por três conjuntos de perguntas. Analisamos a seguir as respostas dos estudantes para cada um dos conjuntos. No total, 240 estudantes fizeram o pré-teste e 173 o pós-teste.

7.2.1 Visão sobre a ciência e seus objetivos

Exploramos as concepções dos estudantes sobre a ciência e seus objetivos. Para isso, analisamos as respostas dos estudantes para o primeiro conjunto de perguntas:

- O que é ciência para você?
- Quais seriam os objetivos da ciência?

Após a leitura do conjunto de respostas dos estudantes, utilizamos um sistema de categorização para classificá-las. Tal sistema é semelhante ao desenvolvido e utilizado em pesquisas anteriores (Carey e colaboradores, 1989; Smith e colaboradores 2000; Sandoval e Morrison 2003) e se baseia na distinção em três níveis para a epistemologia pessoal proposta por Carey e Smith (1993) descrita no capítulo 4.

Nível 1

Foram classificadas nesse nível as respostas:

- pouco elaboradas e vagas nas quais não se podia perceber uma diferenciação clara entre as idéias dos cientistas, experimentos e resultados experimentais;
- que se referiam apenas às atividades concretas ou produtos da ciência, sem demonstrar uma preocupação com o papel das idéias dos cientistas nesse processo;
- que se referiam à obtenção de informações sobre o mundo natural. As respostas continham passagens como ‘resolver problemas’, ‘fazer descobertas’, aprender coisas novas’ etc. Sem mencionar a influência das idéias dos cientistas nesses processos.

Exemplos:

“Ciência para mim é uma busca de novas descobertas, novos significados. Os objetivos são esses, novos significados e descobertas que podem ajudar o mundo a progredir.”

“É a matéria ou meio que se estuda todos os fenômenos do universo. Descobrir novas experiências e meios de facilitar e entender a vida humana e o universo.”

Nível 1.5

É um nível de transição entre os níveis 1 e 2 no qual o estudante começa a perceber a importância e a influência das idéias dos cientistas na ciência. Porém, essa percepção é ainda discreta ou vaga. Foram classificadas nesse nível, sobretudo, as respostas que afirmavam que os cientistas preocupam-se em descobrir como algo funciona.

Exemplos:

“Ciência é um estudo feito com tudo que há no mundo, buscando descobrir cada vez mais sobre cada coisa e assim aperfeiçoar os conhecimentos para descobrir o porquê de cada fenômeno ou ação.”

“Estudos específicos sobre fenômenos mecânicos e naturais que tem como objetivo explicar e compreender as causas e razões de cada fenômeno.”

Nível 2

A principal característica desse nível é que o estudante faz uma clara diferenciação entre as idéias dos cientistas, experimentos e resultados experimentais. Isso permite que os estudantes sejam capazes de ter uma noção sobre explicações (‘explicar um fenômeno natural’) ou teste de hipóteses (‘avaliar uma idéia’ ou ‘comprovar uma teoria’). Os estudantes também percebem que a ciência é complexa e que as idéias dos cientistas evoluem com o tempo e a partir dos resultados experimentais (‘desenvolver a compreensão sobre um fenômeno’).

Exemplos:

“É um ramo de estudos que se baseia em provas e modelos para explicar os acontecimentos.”

“Ciência para mim são estudos que tem o objetivo de comprovar hipóteses, aumentando o conhecimento humano e fazendo com que se possa desenvolver meios de melhorar o ambiente em que vivemos e conhecê-lo melhor.”

Nível 2.5

No sub-nível 2.5, os estudantes demonstram uma maior sofisticação nas respostas, demonstrando uma melhor compreensão dos objetivos da ciência relacionando dois ou mais aspectos do nível 2. Assim, os estudantes compreendem que os resultados experimentais devem ser analisados, que as idéias iniciais dos cientistas podem ser confirmadas ou refutadas a partir de evidências. Porém, essas respostas não podem ser classificadas como nível 3, pois, não deixam explícitos os processos de desenvolvimento de teorias explicativas mais amplas como o objetivo principal da ciência, ou seja, o processo que integra as três noções do nível 2: desenvolvimento, teste de hipóteses e explicação.

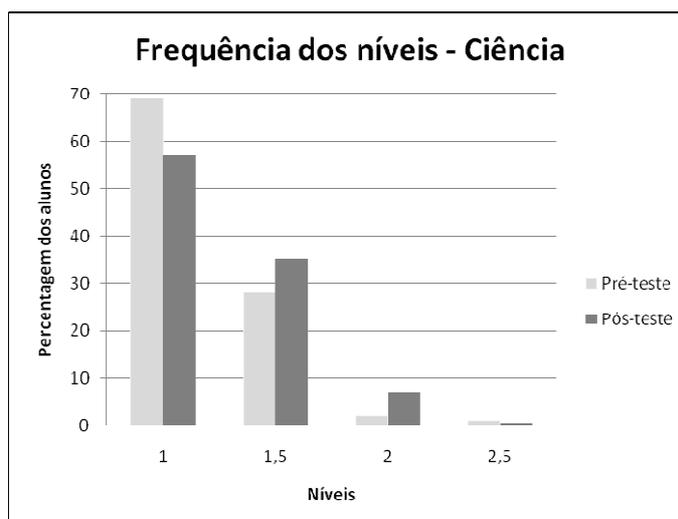
Exemplos:

“Ciência para mim é um conjunto de teorias, hipóteses e pesquisas que não possuem uma verdade absoluta e podem ser contestadas por outra teoria mais lógica que a anterior. Os objetivos da ciência são compreender melhor nós mesmos e o mundo a nossa volta.”

“Ciência para mim é o estudo que nos leva a um conhecimento mais avançado e que nos permite comprovar a hipótese dada pelo estudo. Acho que o objetivo da ciência é gerar conhecimentos, comprová-los, buscar evoluir cada vez mais nos estudos e aprender/entender a origem de tudo. Buscar soluções pra os problemas e/ou doenças que surgem ao longo dos anos.”

A figura 7.1 apresenta o gráfico com a frequência para cada um dos níveis identificados para o pré e o pós-teste. No pré-teste, a grande maioria dos estudantes (69% ou 65 estudantes) teve suas respostas categorizadas como nível 1. As respostas de 28% (68) foram categorizadas como nível 1.5 e, apenas as respostas de 7 estudantes (3%) foram mais sofisticadas e foram categorizadas como nível 2 (5) ou nível 2.5 (2).

Figura 7.1 – Frequência dos níveis – Ciência



No pós-teste, a percentagem de estudantes que teve suas respostas categorizadas como nível 1 diminuiu para 57,2% (99). Já a percentagem de respostas categorizadas como nível 1.5 aumentou para 35,3% (61). Treze estudantes (7,5%) demonstraram uma maior sofisticação em suas respostas, que foram categorizadas como nível 2 (12) e nível 2.5 (1).

Os resultados indicam que houve uma discreta sofisticação nas concepções dos estudantes sobre o que é a ciência e quais são seus objetivos. Isso fica evidenciado pela diminuição das ocorrências do nível 1 e o conseqüente aumento do nível 1.5. Tanto no pré, quanto no pós-teste, nenhum estudante atingiu o nível 3 nesse conjunto de resposta. Tal resultado é semelhante aos obtidos em pesquisas anteriores (Sandoval e Morrison, 2003, por exemplo) com estudantes na mesma faixa etária dos participantes dessa pesquisa.

Comparamos os resultados dos 170 alunos que realizaram os dois testes (tabela 7.15). Não percebemos grandes mudanças nas concepções de 86 alunos. Porém, nas respostas de 52 (30,6%) pudemos identificar certa sofisticação na compreensão sobre a ciência e seus objetivos, o que representou uma diferença significativa entre os testes – $MH(170) = 2,076$, $p = 0,046$.

Tabela 7.15 – Comparação entre os testes – Ciência

Categorias	Pós-teste				Total
	2,5	2,0	1,5	1,0	
2,5	0	0	1	1	2
2,0	0	0	0	4	4
1,5	0	2	20	26	48
1,0	1	10	39	66	116
Total	1	12	60	97	170

Nas entrevistas também pudemos identificar os diferentes níveis de compreensão dos estudantes sobre a ciência e seus objetivos. Quando perguntados sobre o que é a ciência e quais são seus objetivos, alguns alunos responderam:

“Ciência está no nosso cotidiano, está envolvida no nosso dia-a-dia. Para ter novos conhecimentos para o nosso bem. Saber buscar outras coisas importantes para o mundo, para ficar atualizado hoje em dia.”

“A ciência estuda os fenômenos naturais. Tem como objetivo compreender os fenômenos estudados e criar teorias ou postulados sobre eles.”

“Ciência é o estudo dos animais, do que acontece no mundo. Para fazer descobertas, coisas novas.”

“É tudo que gera estudo. Ela se divide em várias partes. Ela tenta explicar algumas coisas que ainda não conseguiram.”

“Ciência é um estudo onde são pesquisados questões que estão em nosso dia-a-dia e que ainda não tem explicação. Seus objetivos são de tentar explicá-los através de experiências que chegarão a uma respostas mais próxima possível da realidade.”

É interessante relatar que alguns alunos finalizavam a entrevista ou iniciavam sua resposta com interjeições de dúvidas como “*ah...sei lá...*”, “*é...nem sei...*” ou ainda afirmando que “*nunca tinha parado para pensar nisso*” ou que “*ninguém nunca tinha perguntado isso antes*”. Por essas frases, percebe-se que esses alunos nunca foram expostos a conteúdos formais ou abordagens explícitas sobre a ciência e seus principais aspectos, o que justifica, parcialmente, as visões ingênuas e estereotipadas da maioria das respostas obtidas.

7.2.2 Visão do processo de experimentação

Exploramos as concepções dos estudantes sobre o processo de experimentação. Para isso, analisamos as respostas dos estudantes para o segundo conjunto de perguntas que era composto por três questões:

- O que você entende por um experimento científico?
- Como os cientistas decidem quais os experimentos eles farão?
- Quais seriam os objetivos dos cientistas ao realizar um experimento?

Utilizamos para a análise o mesmo sistema de categorização apresentado na seção 7.2.1 que classifica em três grandes níveis as respostas dos estudantes.

Nível 1

Nesse nível, os estudantes pensam em experimentos em termos práticos, para produzir um determinado resultado desejado ou um fato novo. Não percebem a relação entre teoria e experimentação. Portanto, para esses estudantes, os cientistas realizam experimentos para resolver problemas, para ver como as coisas funcionam, para descobrir e aprender algo, por exemplo, descobrir a cura para doenças.

Exemplos:

“Uma coisa planejada e feita pelo homem ou um estudo de uma coisa. Com seus estudos e suas inteligências. Fabricar ou descobrir alguma coisa.”

“Experimento científico são tarefas que os cientistas fazem para descobrir coisas ou curar doenças. Primeiro eles discutem qual é o objetivo, dessa discussão eles fazem o experimento. Descobrir coisas novas, ou criar coisas novas.”

Nível 1.5

Nesse nível de transição, o estudante inicia a compreensão da importância das teorias no processo de experimentação e menciona que os experimentos são realizados para determinar como algo acontece, mas não elabora ou não explica como isso aconteceria.

Exemplos:

“Experimento científico são realizações de teste que objetivam explicar fenômenos. Esses experimentos dependem do que se quer descobrir, você deve analisar o fenômeno e anotar as grandezas nele existente. Esses experimentos objetivam explicar o porquê de determinado fenômeno.”

“O experimento científico é fundamental para o estudo da ciência. É o modo de testar na prática teorias científicas e obter mais informações sobre o que é estudado. Eles decidem de acordo com a experiência. Usar a prática para estudar o que antes era visto só nos cálculos.”

Nível 2

No nível 2, os estudantes pensam em experimentos como teste de teorias, idéias ou hipóteses. Eles reconhecem a necessidade de teorias ou idéias prévias para a análise dos resultados. Normalmente, vêem os experimentos como forma de provar ou confirmar determinada teoria. Também os vêem como forma para obter explicações sobre determinados fenômenos e para desenvolver teorias.

Exemplos:

“Um experimento científico é o que fazemos como meio de tentar provar uma idéia e que nem sempre dá certo. Decidem de forma a apresentar fatos que ajudem a analisar o fenômeno. Provar e analisar uma idéia.”

“O experimento científico serve para provar uma hipótese ou fazer mais compreensível a explicação de um fenômeno. Primeiramente vem a dúvida, a pergunta. Depois a hipótese sobre a pergunta e a partir da hipótese vai sendo desenvolvidas questões sobre o assunto e com a hipótese e algumas questões pré-estabelecidas é feito o experimento. Tentar provar a hipótese ou tentar explicar para outros a hipótese.”

Nível 2.5

Nesse nível, as respostas relacionam dois ou mais aspectos identificados no nível 2 e demonstram uma maior sofisticação nas respostas. Deixam claro também, que os experimentos são controlados, destacando o controle de variáveis. Porém, não atingem o nível 3 pois não mencionam o processo cíclico e evolutivo que envolve o teste de hipóteses como meio de produzir evidências para o desenvolvimento de teorias mais abrangentes.

Exemplos:

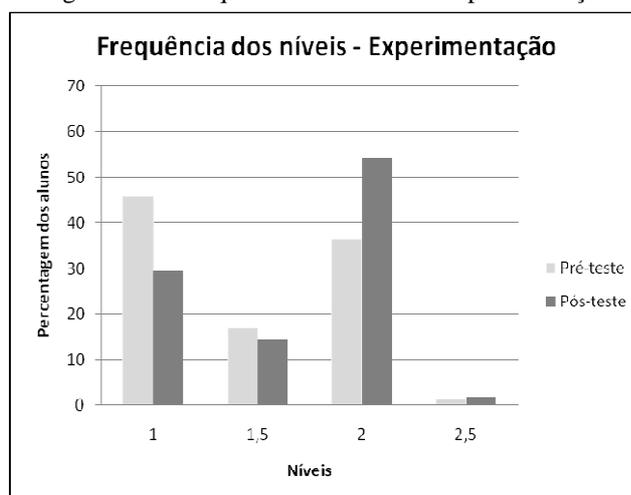
“Um experimento científico consiste na formulação de hipóteses a respeito de um problema ou fenômeno e na construção de maneiras (experimentos) para testar a validade dessas hipóteses e com as respostas obtidas formular teorias que expliquem o problema ou fenômeno inicial. A partir das análises de quais pontos do problema desejam investigar, de modo a fazer os experimentos que permitam a análise desses pontos com uma mesma influência dos demais pontos para não atrapalhar a investigação dos pontos desejados. Testar a validade das hipóteses iniciais a respeito de algum fenômeno ou problema.”

- “Entendo que seja uma simulação controlada de uma situação que ocorra na natureza para avaliar e tirar novas conclusões. Em geral, os cientistas montam um experimento que ilustre bem a situação que querem analisar. Eles testam diferentes variações de um mesmo fator até verificar sua influência, comportamento, implicações etc.

A figura 7.2 apresenta o gráfico com a frequência para cada um dos níveis identificados para o pré e o pós-teste. No pré-teste, 45,8% dos estudantes (110) tiveram suas respostas categorizadas como nível 1. As respostas de 40 estudantes (16,7%) foram categorizadas como nível 1.5 e de 87 (36,3%), foram categorizadas como nível 2. Apenas as respostas de 3 estudantes foram categorizadas como nível 2.5.

No pós-teste, a percentagem de estudantes que teve suas respostas categorizadas como nível 1 diminuiu para 29,5% (51). Já as respostas categorizadas como nível 1.5 diminuiu para 14,5% (25). Já a percentagem de estudantes que tiveram suas respostas categorizadas como nível 2 aumentou para 54,3% (94). E, ainda, três estudantes demonstraram uma maior sofisticação em suas respostas, que foram categorizadas como nível 2.5.

Figura 7.2 – Frequência dos níveis – Experimentação



Os resultados evidenciam certa sofisticação das idéias e compreensões dos estudantes sobre os objetivos da experimentação na ciência. Enquanto no pré-teste a maioria dos estudantes teve suas respostas categorizadas como nível 1, mais da metade dos estudantes no pós-teste teve suas respostas categorizadas no nível 2, enquanto que a porcentagem de respostas nível 1,5 permaneceu praticamente constante.

Comparamos, por meio da tabela 7.16, os resultados dos 170 estudantes que responderam aos dois testes. Desses alunos, 58 (34,1%) apresentaram respostas mais sofisticadas no pós-teste, enquanto que nas respostas de 85 (50%) não identificamos mudanças significativas nas concepções, o que resultou numa diferença significativa entre os testes – $MH(170) = 3,236$, $p = 0,001$.

Tabela 7.16 – Frequência dos níveis – Experimentação

Categorias	Pós-teste				Total
	2,5	2,0	1,5	1,0	
2,5	0	3	0	0	3
2,0	2	46	7	13	68
1,5	1	15	6	4	26
1,0	0	28	12	33	73
Total	3	92	25	50	170

Comparamos os níveis dos estudantes nos dois conjuntos de questões analisados para investigarmos a coerência nas concepções sobre a natureza da ciência dos estudantes. No pré-teste, 106 estudantes (44,2%) tiveram suas duas respostas categorizadas num mesmo nível. No pós-teste, a porcentagem foi semelhante (38,2% ou 66 estudantes). Esse resultado indica certa falta de coerência na visão dos estudantes sobre esses aspectos da natureza da ciência. Abd-El-Khalick (2006) e Sandoval e Morrison (2003) também obtiveram que as respostas de

grande parte dos estudantes parece fragmentada ou que lhes falta um referencial coerente. As visões dos estudantes para os diversos aspectos da natureza da ciência parecem compartimentadas com pouca ou nenhuma ligação entre eles.

Nas entrevistas também perguntamos aos estudantes sobre o que seria um experimento científico, quais os objetivos dos cientistas ao realizar um experimento e como os cientistas decidem quais os experimentos farão. Obtivemos respostas como:

“É um procedimento em circunstâncias controladas que os cientistas fazem para observar a ação de um fator específico. Então ele deve manter os outros constantes para observar a influência daquele nos resultados. Confirmar idéias que eles já tenham, confirmar as teorias. Observar aspectos que eles não sabem, para obter informações sobre algo que eles não sabem.”

“É um estudo que os cientistas fazem querendo obter um resultado. Uma apresentação prática daquilo que eles pensam. De acordo com o estudo deles. Eles tentam provar ou banir uma tese”.

“Descobrir alguma coisa que há muito tempo alguém procura descobrir”.

“O cientista vai fazer o experimento para comprovar a teoria, o que ele acha que vai ser ou não. Tem que analisar as condições. Tem que eliminar ao máximo os erros de medida, fazer várias vezes para ver se vai dar certo.

As respostas obtidas foram variadas e revelam diferentes níveis de compreensão sobre a importância da experimentação para a ciência e seus objetivos. Novamente, pudemos perceber a dificuldade dos estudantes em articular respostas para as perguntas propostas.

7.2.3 A experimentação no ensino de ciências

Buscamos identificar também, as concepções dos estudantes sobre a importância da experimentação no ensino de ciências. Para isso, fizemos a eles a pergunta:

- Nas atividades de laboratório escolar, também realizamos experimentos. Qual seria o objetivo dos experimentos realizados durante as aulas de laboratório?

Para analisarmos as respostas dos estudantes, criamos um sistema de categorias baseado em categorias identificadas em pesquisas anteriores (Driver, Leach, Millar e Scott, 1996; Welzel e colaboradores, 1998; Gomes, Borges e Justi, 2008) e numa leitura preliminar

de todo conjunto de dados para verificar a adequação do sistema criado. As categorias de resposta são descritas a seguir, sempre acompanhadas de exemplos.

O1 – Testar hipóteses

O estudante deixa explícito que o objetivo dos experimentos realizados é testar determinada hipótese ou idéia.

Exemplos:

- “Confirmar ou só testar as teorias que estamos estudando.”
- “Para provar ou derrubar uma hipótese.”

O2 – Confirmar hipóteses/teorias

Definir o objetivo de atividades experimentais como confirmar alguma hipótese ou teoria é bastante comum entre os estudantes. Muitas vezes, o próprio professor contribui para essa visão distorcida das atividades experimentais quando propõe, por exemplo, “verificar que a tensão é proporcional à corrente elétrica num condutor ôhmico.” Para muitos alunos, as atividades práticas têm o único objetivo de comprovar aquilo que já sabemos ou esperamos que aconteça.

Exemplos:

- “Para comprovarmos o que estudamos na teoria.”
- “Provar que uma teoria suposta por nós estava correta.”

O3 – Observar a teoria na prática

Nessa categoria, o estudante diz que o objetivo das atividades é ilustrar a teoria, observar a teoria na prática. Essa categoria distingui-se da anterior porque os estudantes não se referem aos experimentos como formas de comprovar as teorias e sim, formas de ilustrá-las.

Exemplos:

- “Para a gente ver na prática o que vemos na teoria.”
- “Mostrar aos alunos, de maneira prática, aquilo que eles só veriam como teoria. Assim, é possível notar com nitidez, a presença do que é estudado no dia-a-dia.

O4 – Obter conhecimento por meio da prática

As respostas classificadas aqui se referem à importância das atividades práticas para a compreensão do fenômeno estudado. Para esses estudantes, a realização das atividades práticas contribui para a obtenção de conhecimentos, fixação dos conteúdos estudados e como auxílio na compreensão dos assuntos estudados.

Exemplos:

- “Para uma melhor compreensão acerca dos conceitos estudados em sala de aula.
- “Os objetivos dos experimentos são de criar e ampliar os conhecimentos dos alunos sobre o assunto, com base no experimento realizado.”

O5 – Aprender técnicas e métodos experimentais

Para esses estudantes, o principal objetivo das atividades experimentais é ensinar-lhes métodos e técnicas experimentais. Assim, ressaltam a importância de aprender a realizar experimentos, fazer medidas, escrever relatórios etc.

Exemplos:

- “Para termos contato com o método experimental e aprendermos a fazer experimentos.”
- “Fazer os experimentos e anotar os dados, fazer um relatório e apresentar para o professor.”

O6 – Outros objetivos diversos

Várias respostas não puderam ser classificadas em outra categoria. Esta categoria agrupa assim, respostas que se referem a aspectos particulares das atividades práticas, como, por exemplo, tarefas que os alunos devem fazer.

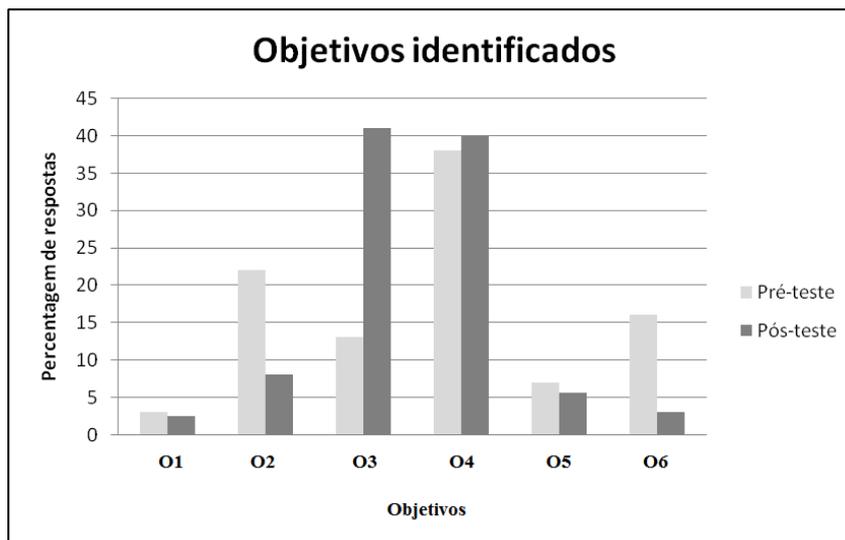
Exemplos:

- “O objetivo é que os alunos cheguem a uma conclusão.”
- “Além de descobrir, nos ajuda a enxergar do que verdadeiramente gostamos, isso pode ajudar até mesmo na escolha de uma profissão.”

A figura 7.3 apresenta o gráfico com a percentagem de ocorrência para cada um dos objetivos identificados para o pré e o pós-teste. No pré-teste, 38% dos estudantes (92) atribuíram às atividades práticas o objetivo de auxiliar na compreensão dos conteúdos. Cerca de 22% (52) atribuiu o objetivo de comprovar teorias e hipóteses e cerca de 13% (32) o objetivo de ilustrar as teorias na prática. Apenas 3% (8) dos estudantes atribuíram o objetivo de testar hipóteses e 7% (17) o objetivo de aprender técnicas e métodos experimentais. Houve ainda, pouco mais de 16% (38) dos estudantes que atribuíram outros objetivos às atividades experimentais.

No pós-teste, 162 estudantes responderam à pergunta sobre os objetivos. Desses estudantes, 66 (41%) atribuíram ao laboratório o objetivo de observar a teoria na prática e 65 (40%), o de auxiliar na compreensão dos assuntos estudados. As percentagens de ocorrência das demais categorias foram bem inferiores.

Figura 7.3 – Percentagem dos objetivos identificados



Comparando-se os resultados do pré e do pós-teste, podemos verificar que a percentagem dos estudantes que atribuiu às atividades práticas o objetivo de testar hipóteses não sofreu grande variação (de 3% para 2,5%). O mesmo ocorreu com a percentagem de estudantes que identificaram a aprendizagem de técnicas e métodos experimentais como o objetivo das atividades práticas (de 7% para 5,6%).

Observa-se uma diminuição significativa do número e percentagem de estudantes que não conseguiram atribuir um objetivo claro às atividades (de 16% para 3%). A percentagem de estudantes que vê as atividades práticas como meio de contribuir para melhorar a compreensão dos conceitos estudados também sofreu pequena variação (de 38% para 40%).

No pós-teste, a diminuição da percentagem de estudantes que atribuiu ao laboratório o objetivo de comprovar hipóteses (de 22% para 8%) foi acompanhada do aumento na percentagem dos estudantes que atribuíram o objetivo de ilustrar a teoria na prática (de 13% para 41%). O crescimento da categoria **O3** pode estar relacionado às atividades práticas do último trimestre, que tinham um caráter complementar ao que era estudado em sala.

Mas, podemos considerar que a diferença entre as categorias **O2** e **O3** de respostas é bastante sutil. Um estudante que tenha respondido que o objetivo do laboratório seja ilustrar as teorias vistas nos livros ou em sala, pode, implicitamente, transmitir a idéia de que os experimentos servem como prova de que aquelas teorias são verdadeiras. Algumas respostas dos estudantes corroboram o que queremos afirmar:

- “Para discutirmos melhor aquelas teorias e idéias que sempre ouvimos, mas somente com a atividade prática teremos a certeza.”
- “Para observarmos como realmente se dão as teorias da sala de aula.”
- “Para vermos se as teorias que estudamos em sala são realmente verdades.”

Portanto, se considerarmos essas duas categorias de resposta como apenas uma, podemos ver que não há diferenças significativas entre os resultados do pré e do pós-teste, à exceção da diminuição da percentagem dos estudantes que atribuíram objetivos pouco claros às atividades.

Nas entrevistas realizadas também perguntamos aos alunos quais eram os objetivos das atividades de laboratório de física:

“Nós fazemos atividades de laboratório para testar a parte teórica. Colocar a parte teórica na prática. Para comprovar as teorias.”

“Eu espero aprender a parte prática da Física. Na teoria a gente ao vê graça nenhuma.”

“Para você aprender as coisas na prática. Você vai ver as coisas teóricas na sala de aula e aqui [*no laboratório*] você vai ver a Física, acho que dá para aprender melhor, fixar o conteúdo.”

“Acho importante. Porque o que a gente aprende na sala, na prática a gente não tem muita noção. Quando a gente vem aqui e faz a prática, agente vê aquilo acontecendo. Assim fica mais fácil de você entender a matéria.”

“É mais para confirmar o que a gente vê em sala. A gente entende a partir das práticas. É uma prova de algumas teorias.”

“Os experimentos realizados durante as aulas de laboratório contribuem muito para o entendimento das matérias, então, eu acredito que o objetivo delas seja proporcionar um aprendizado mais fácil.”

As respostas dos estudantes nas entrevistas corroboram os resultados obtidos com o questionário. Podemos ver que o objetivo de ilustrar/comprovar/provar as teorias é um objetivo comumente atribuído pelos estudantes às atividades experimentais, fato verificado em pesquisas anteriores (Gomes, Borges e Justi, 2008). Isso pode indicar uma forte crença de que as atividades experimentais, e até mesmo a atividade científica são realizadas para a verificação de hipóteses ou teorias. Essa visão distorcida do processo de experimentação pode ser atribuída, talvez, ao excessivo caráter comprobatório que as atividades normalmente realizadas nas escolas possuem.

Não podemos afirmar sobre as compreensões dos estudantes sobre as palavras ‘provar’ ou ‘comprovar’. Porém, as respostas nos questionários e nas entrevistas indicam uma compreensão ingênua sobre o papel da evidência nos processos de experimentação e construção do conhecimento científico. As respostas dos estudantes sugerem uma relação não problemática entre teoria e evidência.

A grande maioria dos estudantes participantes da pesquisa, respondeu que já havia realizado atividades práticas nas escolas onde cursaram o ensino fundamental. As atividades desenvolvidas nesse nível de ensino, em sua maioria, têm por objetivo apenas ilustrar fenômenos estudados na teoria ou demonstrar a veracidade de alguma lei científica. Por isso, os alunos adquirem a visão de que as atividades sempre “funcionarão” de acordo com a teoria e os resultados que serão obtidos também são previsíveis. E essa visão é difícil de ser modificada. Portanto, mesmo a realização de atividades mais abertas e investigativas no período de um ano letivo não foi suficiente para modificar essa visão dos estudantes.

Outros pesquisadores também investigaram a sofisticação das concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência resultante da resolução de atividades investigativas, sem uma abordagem explícita desses conteúdos. Carey e colaboradores (1989) reportam mudanças significativas nas concepções de estudantes de doze anos após três semanas nas quais ocorreram atividades especialmente elaboradas para desenvolver nos estudantes uma visão mais construtivista da ciência.

Meichtry (1998) pesquisou as mudanças nas concepções sobre a natureza da ciência, num grupo de 67 estudantes de licenciatura, após um semestre de curso baseado em atividades investigativas e discussões em grupos. O instrumento utilizado foi uma modificação do instrumento desenvolvido por Rubba e Anderson (1978). Comparando os resultados do pré e do pós-teste Meichtry obteve sofisticações significativas nas concepções dos estudantes em todas as escalas do instrumento.

Porém, outras pesquisas obtiveram resultados mais modestos. Moss, Abrams e Robb (2001) utilizaram um estudo de caso para investigar as variações das concepções de estudantes do ensino médio sobre a natureza da ciência ao longo de um ano letivo. Participaram da pesquisa cinco estudantes com desempenho acadêmico diverso e que, segundo os autores, representavam bem as classes das quais foram selecionados. Os autores concluíram que as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência permaneceram praticamente inalteradas ao longo do ano.

Sandoval e Morrison (2003) investigaram as mudanças nas concepções epistemológicas de oito estudantes do ensino médio por meio de entrevistas após uma intervenção de quatro semanas. Os estudantes trabalharam em um ambiente computacional investigativo que abordava temas sobre seleção natural e evolução. Os autores, após analisarem e compararem as respostas dos estudantes nas entrevistas, concluíram que as concepções dos estudantes não sofreram mudanças significativas com a intervenção. Além

disso, as respostas de cada estudante para as diferentes questões variavam muito entre os níveis, o que revelou uma grande inconsistência em suas concepções.

Conley e colaboradores (2004) também não obtiveram diferenças significativas entre o pré e o pós-teste ao investigar possíveis mudanças nas concepções de 187 estudantes do ensino fundamental sobre aspectos da natureza da ciência e do conhecimento científico. O estudo ocorreu durante nove semanas nas quais foi desenvolvida uma unidade sobre propriedades químicas das substâncias.

Bell e colaboradores (2003) investigaram as mudanças nas visões da ciência de dez estudantes do ensino médio provocadas por um programa que prevê a inserção de estudantes durante oito semanas em laboratórios reais para que os estudantes pudessem acompanhar o trabalho de cientistas e também desenvolver uma investigação própria. Após o programa, essas concepções praticamente não sofreram modificações. Apesar dos estudantes terem desenvolvidos ainda mais suas habilidades em várias etapas do processo de experimentação (o fazer ciência), poucos estudantes demonstraram alguma sofisticação sobre a natureza da atividade científica. O programa parece ter reforçado nos estudantes a idéia do ‘método científico’ como uma seqüência de passos de uma receita a ser seguida ao se fazer ciência.

Como dissemos, promover a sofisticação das crenças dos estudantes sobre a natureza da ciência não era o objetivo principal do currículo de Física do primeiro ano nessa escola. Dessa forma, não houve ênfase, por parte dos professores e desses estudantes, de refletir sobre questões tais como: (a) O que queremos testar com esse experimento? (b) Quais são as hipóteses? (b) Quais os conceitos e idéias principais da física que utilizamos para elaborar nossas hipóteses? (c) Como podemos refutar ou comprovar essas hipóteses? (d) Podemos explicar os resultados obtidos de outra maneira? (e) Quais os conceitos ou idéias da física foram utilizados para explicar os resultados?

Se os professores das outras ciências também não enfatizam essas questões, pouca mudança deve ser esperada. As questões acima levantadas são apenas algumas entre várias que podem e devem ser discutidas antes, durante e depois da realização das atividades práticas. Acreditamos que, ao responder a essas questões, os estudantes podem perceber a importância do embasamento teórico para a experimentação e o seu papel durante a análise de dados.

8 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Neste capítulo final, apresentamos os principais resultados da pesquisa. Com base nesses resultados, fruto das análises realizadas nos capítulos 6 e 7, discutimos as implicações e contribuições da pesquisa para o ensino de ciências, sobretudo o ensino de Física e apontamos novas possibilidades de pesquisa na área.

Este capítulo final está organizado da seguinte forma. Na seção 8.1 apresentamos os principais resultados da pesquisa e buscamos responder às questões propostas. Com base nesses resultados, discutimos as implicações educacionais da pesquisa na seção 8.2 e, na seção 8.3 apresentamos novas perspectivas e possibilidades de pesquisa no ensino de ciências, relacionadas ao estudo realizado.

8.1 Principais resultados e conclusões

O estudo que nos propusemos desenvolver tinha o objetivo de analisar como se desenvolve a compreensão dos estudantes sobre os conceitos de evidência. Também estávamos interessados em identificar como o pensamento epistemológico e a compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico se desenvolvem ao longo de um período no qual foram desenvolvidas atividades práticas diversas, integralizadas ao currículo normal de Física.

De acordo com o modelo desenvolvido por Millar e colaboradores (2002), avaliamos nessa tese a ‘eficiência 2’ das atividades desenvolvidas ao longo do ano. Ou seja, avaliamos o que os alunos realmente aprenderam com as atividades.

Três questões nortearam todo o desenvolvimento da pesquisa:

- O que os estudantes sabem sobre os conceitos de evidência ao ingressarem no ensino médio?
- Qual é a compreensão dos estudantes acerca da atividade científica e dos aspectos da natureza da ciência?

- Se, e de que forma, a compreensão dos estudantes sobre os conceitos de evidência e a natureza da ciência se modificam com a realização de uma seqüência de atividades desenvolvidas durante o ano letivo?

As duas primeiras questões são independentes entre si. Porém, as duas relacionam-se com a terceira questão. Portanto, para melhor organização, facilitar a apresentação dos resultados e para evitar uma grande repetição de informações, dividimos as questões de pesquisa em dois grupos. Compõem o primeiro grupo, as questões 1 e 3, que referem-se aos conceitos de evidência e sua aprendizagem, que serão tratadas na seção 8.1.1. No segundo grupo estão as questões 2 e 3, que referem-se às concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência e sua aprendizagem, que serão tratadas na seção 8.1.2.

8.1.1 – Questões 1 e 3 – Conceitos de evidência

O domínio dos estudantes sobre os conceitos de evidência foi avaliado utilizando-se um teste específico e dois questionários, descritos em detalhes no capítulo 5. As concepções dos estudantes ao iniciarem o ensino médio puderam ser identificadas analisando-se as respostas do pré-teste, aplicado no início do ano letivo.

Os resultados desse trabalho corroboram resultados de pesquisas anteriores sobre as concepções dos estudantes do ensino médio sobre o processo de medição (Coelho e Séré, 1998; Leach e colaboradores, 2000). Pudemos identificar que, ao iniciar o ensino médio, boa parte dos estudantes acredita na possibilidade de se obter um ‘valor verdadeiro’ ou um ‘valor correto’ para a medida e demonstra insatisfação, ou não compreende bem as inconsistências e variações de suas medidas. Os estudantes freqüentemente fizeram alusão à qualidade dos equipamentos e à falta de cuidados tomados durante a medição para justificar essas diferenças.

Muitos estudantes consideram que, com um bom instrumento, a devida atenção e habilidade, é possível fazer uma medida perfeita. Ou seja, acreditam na possibilidade de se obter uma medida com precisão e exatidão absolutas. Outros consideram que, para toda medida, há uma incerteza associada. Assim, por exemplo, estudantes que acreditam na precisão das medidas tendem a não considerar a necessidade de repetir a coleta de dados ou, tendem a selecionar como o valor ‘verdadeiro’ num conjunto de dados, aquele que mais se repete (moda).

Muitos estudantes não reconhecem a importância das evidências para a avaliação de hipóteses ou afirmações de conhecimento e acreditam que a qualidade dos dados coletados só pode ser julgada a partir do valor ‘verdadeiro’ fornecido por uma autoridade (professor, livro etc). Eles não reconhecem que avaliações sobre a precisão podem ser feitas a partir da análise do conjunto de dados obtidos.

Pudemos assim, identificar algumas concepções sobre o processo de medição que são resistentes a modificações:

- É possível realizar uma medida perfeita de uma determinada quantidade, basta para isso tempo e bons equipamentos;
- O processo de medição é uma procura pelo resultado correto (para esses estudantes, a média ou, em um número menor de casos, a moda) ao invés de encontrar a melhor aproximação para a grandeza medida;
- Deve-se utilizar sempre a média aritmética para se obter o resultado final de uma série de medidas;
- A média é tudo o que interessa quando se comparam dois conjuntos de dados, mesmo se eles apresentam dispersões diferentes.

Comparando-se as respostas fornecidas pelos alunos no pré-teste, com as respostas fornecidas no pós-teste, aplicado no final do ano letivo, pudemos identificar as aprendizagens resultantes das atividades desenvolvidas no laboratório de Física ao longo do ano letivo.

Analizamos as aprendizagens dos alunos sobre os conceitos de evidência no capítulo 6. Avaliamos a habilidade dos estudantes em controlar variáveis com o teste de reconhecimento de testes adequados e consistentes e com a **questão 2** do questionário **CE-2**. Os resultados obtidos demonstram que as atividades desenvolvidas contribuíram para que os estudantes aprendessem a reconhecer testes adequados e consistentes, distinguindo-os de testes inconsistentes, e a propor procedimentos que levassem em consideração um controle de variáveis eficiente.

No pré-teste, os alunos demonstraram que possuíam certo conhecimento da importância do controle de variáveis na experimentação. 62,5% de todas as justificativas foram categorizadas como completa e relevante (**C1**) ou completa e irrelevante (**C2**) e cerca de 88% dos estudantes teve alguma de suas justificativas categorizadas como **C1**. Além disso, 30% dos participantes apresentaram justificativas **C1** em todas as cinco respostas. No pós-teste, a soma das percentagens das categorias **C1** e **C2** aumentou para 72,5%.

Em todos os experimentos, o resultado do pós-teste foi superior ao do pré-teste, sobretudo nos experimentos 2 e 4, o que indica uma sofisticação no entendimento dos estudantes sobre testes que adotam uma estratégia efetiva para controlar variáveis. Mas, mesmo no pós-teste, o desempenho de grande parte dos estudantes foi influenciado pelos diferentes tipos de testes presentes no instrumento, o que indica que a habilidade de controlar variáveis não está plenamente desenvolvida e ainda é influenciada por outros fatores como o contexto e o tipo de atividade. Ao final do ano, 35,3% dos estudantes demonstrou dominar tal habilidade efetivamente.

Os resultados da **questão 2** corroboram os resultados descritos acima. Apesar de não haver diferenças significativas entre os resultados do pré- e do pós-teste, o desempenho dos estudantes no teste final foi superior. O aumento no domínio da habilidade de controlar variáveis pode ser percebido pelo aumento das justificativas relevantes. A correlação obtida entre resultados do teste e da **questão 2** sugere que o aluno que teve facilidades em reconhecer comparações experimentais que levam em conta o controle de variáveis, também teve, em geral, facilidades em propor procedimentos para a realização de testes adequados e consistentes.

Os estudantes demonstraram que aprenderam sobre a necessidade de fazer diversas medidas durante uma coleta de dados. A percentagem de estudantes que acreditava que apenas uma ou duas medidas eram necessárias diminuiu de 23,5% para 7,5%, e, conseqüentemente, a percentagem dos estudantes que reconhecem a necessidade de se fazer um número maior de medições chegou a 92,5% no pós-teste.

Porém, ao analisar suas justificativas percebe-se que, grande parte deles não compreendeu ainda os motivos reais da importância de trabalhar com um número maior de dados. Muitos argumentam que um maior número de medidas contribui para diminuir os erros ou para obter dados mais seguros e precisos, mas não indicam como e por que isso ocorre.

A inferência que fazemos acima pode ser reforçada pelos resultados subseqüentes que obtivemos. Quando perguntados sobre qual deverá ser o próximo valor obtido com a repetição de uma medida (sendo que o valor da primeira medida era conhecido), novamente a grande maioria dos estudantes (89,6% no pós-teste) reconheceu que seria um valor próximo do primeiro, e não idêntico. Porém, quando solicitamos que comentassem sobre o novo valor obtido (diferença de cerca de 1% para o primeiro), apenas cerca de 55% dos estudantes deixou explícito que o resultado era normal. Boa parte dos estudantes justificou a variação do resultado referindo-se a erros experimentais ou de medida, sem deixar claro que a variação era normal ou aceitável. Sendo assim, acreditamos que os estudantes, com a realização das

práticas de laboratório, aprendem facilmente que devem coletar mais dados. Porém, a importância de se repetir as medidas deve ser constantemente debatida e exemplificada para que os estudantes realmente possam compreender suas ações no laboratório.

Um resultado que nos chamou a atenção foi a utilização do valor médio para representar um conjunto de dados. Apesar da melhoria significativa em relação ao pré-teste, apenas 65,7% dos estudantes reconheceu que a média é o melhor valor para representar um conjunto de dados que indicavam os valores obtidos para uma grandeza em medições repetidas. Em quase todas as atividades desenvolvidas no ano letivo, os alunos tiveram que calcular a média de diversos conjuntos de dados para as grandezas envolvidas nas atividades e, mesmo assim, uma parte dos estudantes continua acreditando que o valor que mais se repete dentro do conjunto é o que melhor representa o valor daquela grandeza. Esse resultado também contribui para pensarmos que parte dos estudantes acredita que a necessidade de se repetir a coleta de dados por diversas vezes seja para a obtenção de valores repetidos, como forma de corroborar resultados anteriores.

Um resultado esperado foi o fraco desempenho dos estudantes nas questões que envolveram a dispersão dos dados e a variação dos resultados. Os estudantes frequentemente fizeram julgamentos arbitrários sobre a similaridade dos dois conjuntos de dados e falharam ao levar em consideração a variação dos dados quando realizaram as comparações. Tal resultado pode significar que os estudantes participantes da pesquisa não reconhecem que a principal razão para se determinar ou avaliar a variação de um conjunto de medidas é para se obter informações sobre a qualidade dos resultados e para realizar comparações objetivas entre resultados.

As atividades trabalhadas com os estudantes não abordavam diretamente questões como a dispersão dos dados, desvio padrão ou erros relativos. A exceção fica por conta de duas atividades iniciais que solicitavam dos estudantes o cálculo de desvios absoluto médios, mas isso não foi mais explorado ao longo do ano. Mesmo nessas atividades, não houve discussão associando os desvios calculados à dispersão dos conjuntos de dados. Sendo assim, não houve uma melhoria significativa na habilidade dos estudantes de comparar a qualidade de dois conjuntos de dados experimentais. Nas duas questões que avaliavam tal habilidade, o desempenho dos estudantes foi semelhante. Boa parte dos estudantes observou apenas o valor igual das médias dos conjuntos, sem analisar a dispersão dos dados em torno da média.

Essa dificuldade em comparar conjuntos de dados pode prejudicar a distinção entre variações aleatórias nas medidas e variações devidas a fatores causais durante a realização de experimentos. Isso pode ser percebido pelo desempenho dos estudantes na questão que aborda

a influência da massa do pêndulo sobre seu período. Neste caso, a diferença nos valores das médias dos conjuntos é devido às variações experimentais, pois a massa do pêndulo não tem influência em seu período. Apesar da melhoria significativa, no pós-teste, cerca de 32% dos estudantes afirmaram que a massa tem influência no período do pêndulo. Desses 32%, parte justificou sua opção utilizando aspectos teóricos. Outra parte justificou sua opção utilizando os dados tabelados. Esses estudantes não reconheceram que os valores das médias eram próximos e que alguns pontos dos dois conjuntos se sobrepunham. Essa questão, apesar de muito importante, não é trivial. Muitas vezes, não basta olhar para os dados para decidir se existem, ou não, diferenças significativas entre os valores de dois conjuntos de dados. Nesse caso, é preciso fazer um grande número de medidas e utilizar construtos mais sofisticados e testes estatísticos.

Os estudantes conseguiram identificar satisfatoriamente cuidados experimentais que devem ser tomados durante a realização das atividades práticas. Os cuidados mais relatados foram relacionados ao controle de variáveis e ao processo de medição. Os alunos também não tiveram dificuldades para enumerar fontes de erros nos experimentos e atividades realizadas ao longo do ano. Apesar dessa facilidade em identificar procedimentos e cuidados para uma experimentação mais cuidadosa e eficiente, boa parte dos estudantes demonstrou confusão em relação aos tipos de erros que podem ocorrer durante um experimento e formas de evitá-los. Os alunos raramente analisaram as fontes de erros para determinar o efeito de cada uma delas isoladamente e a sua influência sobre a variação final nos resultados ou qual fator é o responsável pela maior parte da variação.

Muitos argumentaram que o cálculo da média é importante para eliminar erros, sem especificar que o cálculo da média não elimina erros sistemáticos de medida ou de execução. Além disso, muitos afirmaram que um número maior de medidas contribui para reduzir os erros, sem mencionar como isso seria possível.

As habilidades de construir e analisar gráficos foram investigadas com duas questões, nas quais os estudantes demonstraram uma boa evolução, com diferenças significativas entre seus desempenhos no pré e pós-teste.

Na **questão 3** do questionário **CE-2**, a percentagem de alunos que traçou a melhor reta que se ajustava ao conjunto dos pontos aumentou de 66,8% para 88,8%, ao passo que a percentagem dos estudantes que traçaram vários segmentos de reta ligando os pontos adjacentes diminuiu de 33,2% para 11,2%. Essa é prática comum entre os estudantes, talvez por não perceberem ainda que os pontos de um gráfico raramente possuem sentido e importância isoladamente. Isso pode ser corroborado pelas estratégias demonstradas pelos

estudantes para determinar a constante elástica da mola. Mais da metade dos estudantes que ajustaram uma reta aos pontos do gráfico, quando calcularam a constante elástica não o fizeram utilizando a inclinação da reta, mas utilizaram outra estratégia para isso. A mais comum delas foi a aplicação da fórmula a apenas um ponto do gráfico. Isso demonstra que os estudantes, no geral, aprendem que devem traçar apenas uma reta entre os pontos, mas ainda não compreenderam o que ela representa.

Na **questão 4** do questionário **CE-1**, apenas 5% dos estudantes construíram o gráfico de maneira correta no pré-teste, enquanto no pós-teste, essa percentagem aumentou para cerca de 45%. Ao construírem o gráfico, quase a totalidade dos estudantes não teve problemas em representar os pares ordenados no espaço apropriado. Alguns estudantes, mesmo após a construção de diversos gráficos ao longo do ano, continuam com dificuldades em fazer escolhas quanto a melhor escala para cada eixo do gráfico e em representar as variáveis independente e dependente nos seus respectivos eixos coordenados. A principal dificuldade dos estudantes ao construir os gráficos foi o traçado da reta que melhor se ajusta aos pontos. Apenas pouco mais da metade dos estudantes no pós-teste (56%) traçou apenas uma reta pelos pontos, enquanto alguns estudantes não reconheceram a necessidade de traçar a reta. O fato de não traçar a reta ou representar os dados na forma de gráficos de barra pode indicar pouca clareza acerca da natureza contínua das variáveis envolvidas no problema. Mais importante é que esses estudantes não parecem compreender que o sentido de traçar uma curva que melhor se ajusta aos pontos é estabelecer uma relação entre as variáveis.

A diferença entre o desempenho dos estudantes nas questões de interpolação e extrapolação também indica isso. O desempenho dos estudantes na tarefa de interpolação foi superior ao seu desempenho na tarefa de extrapolação, tanto no pré quanto no pós-teste. Para a interpolação, os estudantes não precisavam necessariamente orientar-se pelo gráfico. Eles podiam, como muitos fizeram, observar os dados na tabela e obter o valor diretamente da mesma, baseando-se em raciocínio de proporcionalidade. Já para a extrapolação, a curva que melhor se ajusta aos pontos do gráfico é fundamental para obtermos informações sobre valores que vão além dos dados tabelados. Como muitos estudantes não traçaram a reta, eles provavelmente tiveram dificuldades em determinar corretamente o valor procurado.

Apesar das dificuldades enfrentadas pelos estudantes para resolução das questões que compunham os questionários, os estudantes que participaram da atividade investigativa, de forma geral, realizaram uma boa investigação. Isso é importante, pois não podemos considerar as habilidades e os conceitos de evidência relacionados ao processo de investigação

isoladamente. É necessário que os estudantes aprendam a integrar e utilizar essas habilidades e os conceitos de forma produtiva para a execução de investigações.

No geral, os estudantes aprenderam sobre os conceitos de evidência ao longo do seu primeiro no ensino médio. Dessa forma, consideramos que a evolução dos conceitos de evidência dos alunos foi bastante satisfatória e que a tomada de consciência sobre alguns desses conceitos é algo que deve de fato vir mais à frente, a partir da realização de atividades mais abertas e que levem os alunos a refletir sobre seus conhecimentos procedimentais.

Algumas das idéias que discutimos foram pouco trabalhadas no curso, de forma que pareceram difíceis para os estudantes mesmo no final do ano letivo. Entre elas destacam-se o significado e origem dos erros, o conceito de dispersão e de suas medidas. Fica claro que, nos temas mais trabalhados ao longo do ano o desempenho dos estudantes melhorou, tal como no uso de tabelas, controle de variáveis e construção e interpretação de representações gráficas.

Algumas outras pesquisas também avaliam as aprendizagens de conceitos de evidência resultantes da resolução de atividades práticas de natureza investigativa (Rollnick e colaboradores, 2002; Kung e Linder, 2006). Essas pesquisas, apesar de reportarem melhoria no desempenho dos estudantes no pós-teste, revelam que as aprendizagens alcançadas foram aquém do esperado.

A dificuldade na aprendizagem dos conceitos de evidência pode ser explicada em parte pela distinção introduzida por Hart e colaboradores (2000) entre os propósitos e os objetivos de uma atividade prática. Segundo eles, o primeiro diz respeito aos propósitos pedagógicos estabelecidos pelo professor, ou seja, a razão pela qual determinada atividade está sendo realizada, a forma como ela está organizada e relacionada com outras atividades e quais os resultados educacionais a atividade deve produzir em termos de aprendizagem dos estudantes. Já os objetivos, referem-se aos enunciados mencionados para os estudantes, presentes nas folhas de atividades, ou seja, os objetivos são normalmente afirmações sobre um tópico específico de conteúdo, como, por exemplo, obter a relação entre tensão e corrente em condutores ôhmicos. Enquanto os objetivos da atividade podem ser vistos como algo que determina o que será feito durante a atividade, os propósitos relacionam-se as com as expectativas dos professores de que a atividade resulte num aprendizado estabelecido, mas eles permanecem implícitos, às vezes até para próprios professores.

O grande problema é que os alunos reconhecem, na maioria das vezes, apenas os objetivos imediatos da atividade. Portanto, os propósitos educacionais das atividades não são reconhecidos, o que leva os estudantes a não estabelecer relações entre as atividades realizadas, nem entre as aprendizagens por elas geradas.

Os conceitos de evidência foram trabalhados, ao longo das atividades, de forma implícita. Assim, muitos alunos tiveram dificuldades para reconhecer que a realização das práticas, além do aprendizado dos conteúdos específicos, envolve também o aprendizado desses conceitos de evidência e das habilidades relacionadas ao laboratório. Tal inferência pode ser reforçada pelos resultados da seção 7.2.3. No pós-teste, apenas 5,6% dos estudantes atribuíram ao laboratório escolar o objetivo de aprender técnicas e métodos experimentais. A grande maioria dos estudantes atribuiu às atividades práticas escolares o objetivo de observar a teoria na prática ou o de auxiliar na compreensão dos assuntos estudados. A separação do curso de Física em aulas teóricas e aulas de laboratório, que se desenvolvem em paralelo tratando quase sempre dos mesmos conteúdos, pode contribuir para que os alunos vejam as atividades de laboratório como ilustrações ou oportunidades para ver na prática aquilo que estudaram ou irão estudar nas aulas teóricas.

Outro motivo que pode explicar porque alguns estudantes se beneficiam muito pouco das atividades práticas é que estes realizam as atividades sem curiosidade intelectual, interesse ou motivação. Esses estudantes vão para o laboratório, fazem o que está sendo pedido e vão embora. Fazem o relatório como uma obrigação, sem refletir sobre a atividade. As gravações em vídeo das atividades demonstram que boa parte dos alunos se engaja de fato e se sentem desafiados pelas atividades propostas, sobretudo nas atividades em que lidam com conteúdos, técnicas ou equipamentos novos, como no caso das atividades sobre eletricidade. Porém, alguns alunos não se envolvem efetivamente, interagem pouco com os colegas e não demonstram interesse pelas atividades.

Na seção 8.2, quando discutiremos as implicações educacionais do nosso trabalho, proporemos ações e atividades para que os professores abordem essas questões de forma mais eficiente para possibilitar que os estudantes desenvolvam concepções mais sofisticadas sobre o processo de medição e de experimentação.

8.1.2 – Questões 2 e 3 – Natureza da ciência

No capítulo 7, buscamos identificar possíveis mudanças nas concepções dos estudantes sobre diversos aspectos da natureza da ciência e da produção do conhecimento científico ao longo do ano letivo. Promover a sofisticação das idéias dos estudantes sobre o que é a ciência e o conhecimento científico não era o objetivo prioritário do curso de física para o primeiro ano. Apenas nas semanas iniciais esses temas foram abordados.

Diversos educadores (Moss, Abrams e Robb, 2001; Sandoval e Morrison, 2003) e documentos oficiais (AAAS, 1990; NRC, 1996) esperam que a realização de atividades práticas, especialmente investigações, contribua para que os estudantes desenvolvam idéias mais sofisticadas sobre a relação entre teoria e evidência e dos demais aspectos da natureza da ciência e do conhecimento científico.

Nos roteiros das atividades realizadas ao longo do ano letivo não havia menção sobre qualquer aspecto sobre a natureza da ciência. Como vimos, os estudantes participantes da pesquisa eram divididos em oito turmas. Dos quatro professores que lecionavam nas turmas, dois eram recém-licenciados, com experiência limitada. Os dois outros professores eram experientes. Mas, mesmos os professores mais experientes abordaram os aspectos sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico de maneira pouco enfática.

Não pretendemos atribuir quaisquer mudanças nessas concepções sobre os aspectos da natureza da ciência apenas à realização de atividades práticas. As mudanças identificadas devem ser creditadas a uma ampla gama de fatores ou a todo o processo de imersão dos estudantes em um ambiente cultural particular, de uma escola específica.

O questionário fechado aplicado era composto por 39 afirmativas que foram avaliadas segundo uma escala Likert de 5 posições. As afirmativas que compunham o teste foram adaptadas de testes utilizados por vários outros pesquisadores. Das escalas criadas, apenas três atingiram medidas psicométricas satisfatórias. Além disso, como resultado da análise das entrevistas dos alunos, resolvemos excluir alguns itens que foram nitidamente mal interpretados pelos estudantes. Para essas três escalas, as cargas fatoriais obtidas para os itens, bem como suas comunalidades no fator e as medidas de consistência interna (correlações e alfa de Cronbach) são aceitáveis e similares aos valores obtidos em pesquisas anteriores.

Os resultados do pós-teste foram superiores para a escala ‘A ciência como verdade absoluta’ e obtivemos, para essa escala, uma influência significativa dos professores. Esses resultados indicam que mesmo que a atividade não preveja alguma discussão sobre esse aspecto da natureza da ciência, a atuação do professor é importante para estimular os alunos a refletirem sobre o poder e a limitação da ciência.

Construímos duas escalas relacionadas à relação entre teoria e evidência durante o processo de experimentação. Na escala ‘O processo de experimentação’ obtivemos que o resultado do pós-teste foi inferior ao do pré-teste. Mas, para essa escala, também obtivemos uma influência significativa do professor. Tal resultado sugere que a atuação do professor e a forma como as atividades práticas são conduzidas por ele podem contribuir para desenvolver concepções mais sofisticadas sobre aspectos da natureza da ciência ou, ao contrário, reforçar

concepções ingênuas. Na escala ‘Influência da teoria sobre a experimentação’ não obtivemos diferenças significativas entre os testes e também não identificamos a influência do professor.

De forma geral, poucas modificações puderam ser identificadas entre o pré e o pós-teste. Podemos explicar esse resultado assinalando que durante as aulas de laboratório, o discurso dos professores sobre questões envolvendo a natureza da ciência e, especialmente a relação entre teoria e evidência era, na maioria das vezes, implícito. As configurações experimentais, a relação entre essas configurações e os objetivos da atividade, o porquê da medição de determinada variável e os procedimentos para execução das medidas foram pouco comentados. Assim, é mais difícil para o estudante perceber a relação entre as idéias teóricas e o processo de experimentação.

Dessa forma, por meio das atividades práticas, alguns estudantes perceberam a importância das idéias e teorias durante a execução e, sobretudo, a análise dos dados. Esses estudantes, possivelmente, obtiveram escores superiores no pós-teste. Porém, a maioria dos estudantes não percebeu isso durante as aulas. Ficaram talvez, mais preocupados em coletar os dados e a responder as perguntas dos roteiros das atividades.

A análise dos vídeos dos alunos realizando atividades ao longo do ano letivo sugere que os estudantes tiveram poucas oportunidades para discutir sobre suas idéias utilizando as evidências obtidas ou refletir sobre o processo de experimentação. Em momento algum pudemos identificar qualquer interação entre os alunos ou entre alunos e professor sobre algum aspecto da natureza da ciência e do conhecimento científico.

Para obtermos mais indícios sobre possíveis modificações nas concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência, analisamos suas repostas nos três conjuntos de questões do questionário aberto. O primeiro conjunto de questões buscava identificar as concepções dos estudantes sobre o que é a ciência e quais são os seus propósitos. O segundo conjunto abordava questões sobre o que é um experimento científico e quais os objetivos dos cientistas ao realizá-los. Já o terceiro conjunto, abordava o processo de experimentação e os objetivos das atividades práticas no ensino de ciências.

Obtivemos diferenças significativas nas ocorrências dos níveis entre o pré- e o pós-teste para os dois primeiros conjuntos de questões, o que revela uma discreta sofisticação nas concepções dos estudantes sobre os aspectos abordados. Pudemos identificar que poucos estudantes tiveram suas repostas categorizadas num mesmo nível para os dois primeiros conjuntos de questões, o que sugere que suas concepções sobre a natureza da ciência é fragmentada e pouco coerente. Esse padrão é semelhante ao conhecimento de qualquer novato começando a aprender sobre um novo campo. Ele não dispõe ainda de uma base de

conhecimento estruturado e ampla o bastante para permitir que veja as semelhanças entre casos aparentemente diferentes ou que perceba diferenças entre estados e coisas iguais na aparência. O que lhe chama a atenção são os aspectos superficiais e salientes, de forma que ele tende a tratar cada caso como um caso distinto, diferentemente de alguém com maior vivência naquele campo que começa a ver padrões e tende a organizar os fenômenos em termos de relações e princípios estruturadores.

Resultados de pesquisa mostram que as concepções sobre a natureza da ciência não são estáveis, não compondo um sistema coerente de crenças. Ao contrário, essas concepções podem ser contraditórias, fragmentadas, inconsistentes entre contextos e domínios e conflitantes com as crenças epistemológicas pessoais sobre a melhor forma de se aprender ciências (Sandoval e Morrison, 2003 Hammer, 1994, Hogan, 2000 Roth e Roychoudhury, 2003).

Assim como em pesquisas anteriores, também identificamos a dificuldade dos estudantes em articular respostas, seja na forma escrita ou oralmente sobre aspectos da natureza da ciência. Muitos dos estudantes que entrevistamos afirmaram que nunca pensaram, ou nunca tiveram a oportunidade de discutir, sobre muitas das perguntas feitas a eles durante a aplicação do questionário ou da entrevista.

A concepção de que os experimentos são idealizados para comprovar teorias é muito arraigada entre os estudantes. Essa imagem talvez venha das próprias atividades práticas e demonstrações desenvolvidas no ensino de ciências, ainda no ensino fundamental. Essa imagem é reforçada talvez pela coincidência de que os conteúdos das atividades realizadas no laboratório eram parte dos conteúdos mais gerais estudados em sala de aula.

Essa imagem também é comum nos livros-textos de ciências, biologia, química e física, na mídia impressa e em programas de televisão, como canais de TV a cabo, voltados para a divulgação científica. Quando perguntados sobre os objetivos dessas atividades para o ensino, grande parte dos estudantes afirma que são para ilustrar/comprovar as teorias aprendidas. Poucos estudantes atribuem a essas atividades, o objetivo de testar hipóteses ou o de aprender técnicas e métodos experimentais.

8.2 Implicações educacionais

Atualmente, diversos documentos oficiais e pesquisadores discutem e propõem mudanças na educação em ciências no ensino básico, visando garantir a alfabetização científica e a compreensão pública da ciência (NRC, 1996; Millar e Osborne, 1998; Millar, 2006). Segundo eles, o ensino de ciências não deve promover apenas o aprendizado do conhecimento substantivo da ciência pelos estudantes. É igualmente importante que estes estudantes tenham oportunidades de desenvolver entendimentos mais sofisticados de como o conhecimento científico, expresso como leis, teorias e modelos, é produzido, testado e validado e que eles possam realizar atividades curriculares que tenham como objetivo promover o desenvolvimento de habilidades relacionadas à coleta, validação, representação e interpretação das evidências. Assim, eles poderão aprender a apreciar a qualidade dos argumentos em favor de determinadas afirmações e posições e como eles se relacionam com os dados, teorias e evidências em que estas se apóiam.

Uma das formas de se obter um ensino mais significativo, contextualizado e atualizado pode ser por meio de atividades práticas desenvolvidas no laboratório escolar. Porém, as atividades realizadas devem fornecer oportunidades aos estudantes de desenvolver atitudes e habilidades cognitivas de alto nível intelectual e não apenas habilidades manuais ou destrezas instrumentais. Por isso, defendemos a imersão dos estudantes em ambientes que propiciem atividades investigativas e exijam uma atitude mais participativa e reflexiva, conforme assinalado por Borges e Borges (2001). Acreditamos que o ensino de ciências por meio de investigações possa permitir o desenvolvimento de habilidades, de atitudes e de uma base fenomênica, essencial para facilitar o aprendizado das principais leis, teorias e modelos da ciência. Além disso, isto promoveria o envolvimento ativo dos estudantes com questões de interesse mais amplo.

Dirigir a atenção dos estudantes para aspectos relacionados à coleta, análise e avaliação das evidências é importante para romper com a rotina das atividades tradicionais de laboratório, onde o que interessa são os produtos finais, isto é, o relatório, cálculos e gráficos que o professor avalia.

Com isso, queremos que nossos estudantes sejam capazes de formular perguntas, planejar e executar investigações que forneçam a eles dados e evidências suficientes para responder às questões propostas. Queremos também que eles dediquem mais tempo a pensar sobre como fazer a atividade, sobre a qualidade de seus dados e resultados, em lugar de

preparar montagens e coletar dados sem saber para que servem ou a relação entre o que estão fazendo e o propósito da atividade.

Um dos argumentos para a utilização das atividades práticas no ensino de ciências é o de que uma boa compreensão sobre a natureza da ciência e das características do conhecimento científico pode ser mais bem desenvolvida se os estudantes realizarem atividades práticas, especialmente do tipo investigativo.

Segundo alguns autores (Roth, 1995; Chinn e Malhotra, 2002), a realização de atividades investigativas tem potencial de criar as condições e oportunidades para que os estudantes compreendam a natureza das bases epistemológicas da ciência e do processo de construção do conhecimento científico.

Porém, os resultados do nosso trabalho indicam que a realização de atividades práticas não é necessariamente suficiente para desenvolver crenças epistemológicas mais sofisticadas. Estudantes podem se engajar nessas atividades, apreciar os benefícios dessas atividades para a construção de seus conhecimentos conceitual e procedimental, mas manter uma visão ingênua sobre aspectos da natureza da ciência e de sua epistemologia.

Ao contrário da abordagem implícita, muitos pesquisadores defendem uma abordagem explícita para se ensinar aspectos sobre a natureza da ciência. Tal abordagem consiste em introduzir explicitamente determinados aspectos da natureza da ciência e fornecer aos estudantes múltiplas oportunidades para refletir e discutir sobre esses aspectos, inclusive por meio de atividades investigativas, para que eles possam desenvolver concepções mais sofisticadas (Khishfe e Abd-El Khalick, 2002; Khishfe e Lederman, 2007).

A natureza da ciência é abordada de forma explícita quando os estudantes têm a oportunidade de examinar, discutir e argumentar sobre as evidências e examinar e decidir entre explicações alternativas. Recomenda-se um ambiente no qual os estudantes possam ter a oportunidade de avaliar a transformação de dados em evidências, evidências em modelos, modelos em teorias e explicações.

É importante que, ao final da atividade, o professor aponte aos estudantes os aspectos relacionados à natureza da ciência e à investigação científica que foram abordados na atividade. Para encorajar a reflexão, os professores podem discutir com os alunos as implicações e importância desses aspectos sobre a produção e validação do conhecimento, no contexto da ciência e também no contexto própria atividade. É importante ressaltar que uma abordagem explícita não é sinônima de aula expositiva sobre o tópico. Referimo-nos a essa abordagem explícita como uma abordagem centrada na discussão, argumentação e

justificação, na qual o estudante tem um papel central e atuante e em que o principal foco é compreender os principais aspectos relacionados à epistemologia do conhecimento científico.

O ensino de ciências pode se beneficiar muito ao dar atenção à interação entre as concepções epistemológicas, atitudes e estratégias de aprendizagem dos estudantes. Enquanto as atividades práticas podem fornecer a oportunidade aos estudantes de ter um papel central no processo de geração do conhecimento, elas também fornecem ao professor a oportunidade de abordar várias questões epistemológicas sobre o papel das evidências, o papel e desenvolvimento das teorias científicas e as principais características do conhecimento científico. Além disso, durante as atividades, as considerações epistemológicas dos estudantes devem ser levadas em consideração e as reflexões epistemológicas devem ser parte integral das atividades desenvolvidas, devendo ser incorporadas por períodos longos de tempo (Meyling, 1997; Schwartz, Lederman e Crawford, 2004; Bartholomew, Osborne, Ratcliffe, 2004).

Para Leach (2002), os aspectos mais importantes e que influenciam decisivamente na realização de uma atividade prática são: (a) o papel dos dados e do processo de medição, (b) as crenças sobre a natureza do processo de investigação, (c) o papel das teorias e sua relação com as evidências, (d) a natureza das explicações e do conhecimento científico.

O planejamento e a realização de atividades práticas e investigações implicam em tomar decisões. Os estudantes devem tomar decisões sobre o planejamento, execução da atividade e análise dos dados. Para que tomem suas próprias decisões e entendam as decisões tomadas por outras pessoas, os estudantes devem compreender vários aspectos sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico.

Durante a realização das atividades, os estudantes devem ter a oportunidade de decidir sobre que instrumentos de medida utilizar, a quantidade de dados a serem coletados e, posteriormente, quais as conclusões que podem ser validamente obtidas a partir dos dados produzidos. Se os estudantes, durante as atividades, não decidem quais dados ou informações devem ser coletados, é improvável que eles adquiram uma consideração epistemológica de que informações ou dados são apropriados para responder a determinada pergunta. Se os estudantes não trabalharem a análise de dados para suportar ou refutar as hipóteses formuladas, é provável que eles continuem tendo dificuldades para distinguir entre teoria e evidências. Ou seja, a forma como as atividades são desenvolvidas podem ter consequências diretas sobre as concepções epistemológicas dos estudantes e sobre o potencial que este ambiente de aprendizagem tem para desenvolver tais concepções.

As conclusões que podem ser obtidas das atividades dependem fundamentalmente de como os dados são interpretados e analisados. Durante a fase de interpretação, muitos estudantes acreditam que a construção de gráficos, a representação da curva que melhor representa os dados ou o cálculo da média são heurísticas rotineiras, independentes da teoria utilizada. Outros estudantes, ao contrário, percebem que todo o processo de experimentação e análise dos resultados é influenciado pelo conhecimento teórico e pelas hipóteses que se tem em mente. Sendo assim, as estratégias para a coleta e interpretação dos dados dependem da visão dos estudantes sobre a relação entre a teoria e os dados no processo de experimentação.

Muitos estudantes consideram como objetivo das atividades práticas a obtenção de resultados previamente conhecidos ou de apenas ilustrar as teorias e modelos científicos. Eles não reconhecem como objetivo do laboratório o teste de hipóteses. Muitos acreditam que uma simples atividade prática pode provar ou refutar uma teoria, implicando numa simetria falsa entre a comprovação e refutação.

Os alunos precisam desenvolver a idéia de que a ciência depende fundamentalmente de sua base empírica. Portanto, é importante aprender a pensar nos fenômenos naturais em termos de variáveis ou fatores, começar a entender que nós podemos formular boas explicações desses fenômenos se relacionarmos as variações de alguns desses fatores ao comportamento de outro fator selecionado que desejamos compreender e explicar. É importante que os estudantes aprendam que formular uma explicação em termos das relações entre um conjunto de variáveis deve ser algo embasado em medidas e observações.

A competência de identificar as variáveis a serem investigadas e adotar estratégias adequadas para controlá-las é um indicador do nível de sofisticação do pensamento científico do estudante. Para se trabalhar com sistemas com diversas variáveis, além de uma boa compreensão da atividade, os estudantes precisam desenvolver um modelo que envolva as relações de causalidade entre elas. Isso inclui a concepção de que o resultado obtido é uma combinação de efeitos das variáveis envolvidas. O domínio deste modelo é um pré-requisito fundamental para uma escolha consistente da estratégia de investigação e também para a análise e interpretação adequada das evidências produzidas. O seu domínio pode ser favorecido por atividades de discussão do problema a ser investigado e das hipóteses sobre ele, no início de cada atividade.

Ao conduzir uma atividade prática os estudantes se defrontam com diversos conjuntos de dados que possuem certa variação. Esses alunos precisam discriminar entre efeitos atribuídos a relações causais entre as variáveis envolvidas e erros experimentais. Aprender quando a variação nos dados demonstra uma relação de causalidade/covariação ou é fruto

apenas dos diversos erros durante a atividade é, geralmente, uma tarefa difícil em todos os contextos. Alunos mais novos têm duas desvantagens ao interpretar esse tipo de dado. Primeiro eles não possuem um conhecimento estatístico formal. Segundo, devido à experiência limitada, é difícil para eles perceber algum padrão, formular explicações sobre o fenômeno ou propor hipóteses sobre mecanismos potenciais que expliquem os resultados obtidos.

Acreditamos, assim como Millar e colaboradores (1994) que os conceitos de evidência contêm idéias que devem ser ensinadas. Não se pode simplesmente esperar que os estudantes cheguem a elas a partir das atividades. A compreensão de crianças e adolescentes sobre a evidência empírica e os critérios para avaliar a qualidade da evidência precisam ser trabalhados explicitamente pelo currículo.

Se desejamos que os estudantes desenvolvam uma compreensão significativa desse processo, devemos engajá-los em atividades nas quais eles apliquem os procedimentos aprendidos, mas também, ajudá-los a refletir e examinar a motivação e o propósito dos procedimentos realizados de forma que os estudantes possam estabelecer conexões.

A maioria dos estudantes memoriza as ferramentas matemáticas e outros passos que devem ser realizados para resolver determinados problemas, ao invés de compreender os conceitos envolvidos. Deve-se propor que os professores trabalhem os conceitos que estão envolvidos no processo de medição de maneira explícita, com atividades adequadas, guiando os estudantes por meio de uma série de situações nas quais eles possam compreender o que estão fazendo, aplicar esses conceitos e reconhecer a importância disso para a análise dos resultados.

Portanto, os professores devem procurar desenvolver atividades que contribuam para que os estudantes compreendam o que representam a média, a moda, a mediana de um conjunto de valores, como podem ser obtidas e qual a importância de cada uma como medida da tendência central de um conjunto de dados. Os professores devem promover discussões sobre o significado dos termos precisão, erros sistemáticos e aleatórios, variação, incerteza e desenvolver atividades nas quais os estudantes possam aplicar tais conceitos de forma contextualizada e significativa. Essa terminologia pode, inicialmente, ser introduzida de forma qualitativa e, com a sequência das atividades, ser acrescida de aspectos quantitativos, por meio da exploração de situações experimentais diversificadas.

Raramente estudantes integram, espontaneamente, informações apresentadas isoladamente. Portanto, as atividades desenvolvidas precisam mobilizar a atenção dos estudantes para que eles construam uma compreensão integrada e fornecer o suporte

necessário nesse processo de desenvolvimento das integrações. Ao integrarem os conceitos de evidência com concepções contemporâneas sobre a natureza da ciência e a epistemologia do conhecimento científico, os estudantes podem desenvolver uma perspectiva coesa sobre o processo de experimentação e sua importância para o desenvolvimento do conhecimento (Songer e Linn, 1991; Bell e Linn, 2002).

A definição do conhecimento procedimental englobando habilidades manipulativas, técnicas práticas e, sobretudo, os conceitos de evidência, leva-nos a acreditar na necessidade de se elaborar atividades que progressivamente contribuam para desenvolver e refinar a compreensão dos estudantes sobre os propósitos do processo de experimentação e dos principais conceitos relacionados à análise e à qualidade dos dados e das evidências produzidos.

Nesse aspecto, a participação do professor é de extrema importância. As pesquisas na área da educação em ciências e as reformas curriculares podem estruturar e sugerir formas e estratégias de ensino mais eficazes, mas a subsequente implementação dessas novas pedagogias em sala de aula depende da ação individual de cada professor.

Durante atividades de laboratório, os professores devem dar a devida atenção à discussão de questões específicas com os estudantes. As perguntas podem ser sobre o que eles estão tentando obter ou descobrir, quais os procedimentos utilizados ou o que eles já sabem sobre o fenômeno e o domínio da investigação. Exemplos dessas perguntas são: (i) como podemos testar a aplicabilidade de nossos modelos, (ii) como podemos transformar nossas hipóteses iniciais e afirmações acerca de um fenômeno em conhecimento, (iii) qual o melhor método para o teste de determinada hipótese, (iv) quais as variáveis relevantes para a solução do problema, (v) para que servem os dados medidos, como registrá-los e tratá-los, em que medida eles são confiáveis, (vi) que evidências podem ser construídas a partir dos dados obtidos, e, por fim, (vii) o que se pode afirmar sobre o problema tratado ao se alcançar uma solução e que confiança pode-se ter sobre essas afirmações.

Porém, o que se percebe é que, normalmente, professores e alunos estão mais preocupados com detalhes técnicos e com atividades manuais. Essa preocupação excessiva com esses aspectos limita seriamente as aprendizagens que podem ser alcançadas com a realização das atividades no laboratório escolar.

Resultados de pesquisas indicam que quando as ações e procedimentos dos estudantes durante as atividades são discutidos e analisados com ajuda do professor, os estudantes têm maiores possibilidades de desenvolver uma compreensão conceitual da experimentação e de seus procedimentos fundamentais (Roth e Roychoudhury, 2003; Hofstein e colaboradores,

2005; Kung, 2005). Por meio dessas discussões, os estudantes têm a oportunidade de perceber que os métodos e os procedimentos utilizados dependem da natureza do problema e que os resultados obtidos, assim como o que foi aprendido, também dependem diretamente do processo de investigação realizado.

Além disso, seria importante que os professores favorecessem a realização de tarefas pré-laboratoriais para explicitar os objetivos pretendidos e, ao final da atividade prática, promovessem a discussão dos resultados obtidos, tendo em vista os objetivos inicialmente propostos. O envolvimento dos alunos nessas tarefas pode contribuir para que eles obtenham uma compreensão mais adequada do processo de experimentação e estabeleçam conexões entre os objetivos das atividades e as ações e procedimentos realizados.

Essa proposta tem um custo em termos de tempo alocado para cada atividade ou, mantendo-se a mesma carga horária, na diminuição do número de atividades práticas realizadas ao longo do ano letivo. Uma saída possível é dividir o encargo ao longo de mais anos, por exemplo, a partir do ensino fundamental.

Os resultados da pesquisa indicam que os estudantes, ao ingressarem no ensino médio, possuem dificuldades na construção e interpretação gráfica. Propiciar condições para que os alunos aprendam a interpretá-los e utilizá-los como uma das possíveis representações de fenômenos naturais contribui, não somente para a aprendizagem na ciência, mas para a sua vida cotidiana. Defendemos, assim como Ainley (2000), que é necessário trabalhar com diferentes representações dos mesmos dados, discutindo-se as vantagens e desvantagens de cada representação, pois a familiaridade e o domínio das representações gráficas emergem através do uso e não é inerente ao tipo de representação.

As habilidades gráficas devem ser desenvolvidas por meio de atividades significativas para os estudantes e contextualizadas. A construção e a interpretação de representações gráficas em diferentes atividades, em diferentes contextos e áreas podem fornecer aos estudantes a oportunidade de decidir como e qual representação deve ser utilizada baseando-se nas características de cada representação, nas características dos dados obtidos e nos objetivos das atividades.

Às vezes, os estudantes falham ao construir ou interpretar gráficos, não pela falta de habilidades específicas, mas sim por não identificarem os propósitos da análise dos dados. Dessa forma, as questões que estão sendo perguntadas e como elas podem ser respondidas através das representações gráficas devem ser amplamente discutidas e ficar claras para os estudantes.

Quando os alunos constroem tabelas e gráficos, eles têm a oportunidade de refinar suas compreensões, de rever o processo de investigação, dividir as idéias e analisar os dados. Engajar e motivar os estudantes para trabalhar com representações gráficas pode ser benéfico para que eles construam um conhecimento mais sofisticado sobre o conteúdo e os processos da investigação realizada.

Nosso trabalho também alerta para o perigo potencial de parte dos estudantes desenvolver e/ou manter concepções incorretas a partir da realização das atividades práticas. Para alguns estudantes, principalmente aqueles que possuem maiores dificuldades em compreender a lógica da experimentação, suas ações são aleatórias e sem sentido. Portanto, esses alunos têm poucas chances de obter sucesso em suas atividades e precisam de auxílio e atenção do professor. Porém, quando as investigações são finalizadas com tarefas de apresentação e discussão dos resultados e procedimentos, sempre tendo em vista os objetivos propostos, o risco de manter concepções incorretas é menor.

A elaboração dos relatórios pode contribuir para que os estudantes desenvolvam o raciocínio científico e a capacidade de lidar com atividades práticas mais abertas. Ao analisar os relatórios percebemos que alguns estudantes no primeiro ano do ensino médio ainda enfrentam dificuldades para compreender como relacionar as observações e os dados produzidos pela atividade com as hipóteses, explicações ou afirmações oriundas das teorias.

A maior preocupação dos alunos ao escrever os relatórios foi a descrição dos procedimentos realizados. Pouco ou nenhum espaço era dedicado à discussão e análise dos resultados. Keys (1999) argumenta que a ocorrência de inferências significativas para interpretar os dados e a elaboração de novas hipóteses e explicações para os dados obtidos são indicativos de que o estudante está demonstrando uma sofisticação no seu raciocínio científico ao invés de apenas apresentar os dados e as suas conclusões de maneira sequencial e acrítica.

Acreditamos que a correção e a discussão dos relatórios elaborados podem contribuir para que os estudantes desenvolvam a habilidade de redigir relatórios progressivamente melhores. Em alguns dos relatórios analisados, pudemos identificar vários tipos de erros que não foram apontados pelos professores que os corrigiram. Gráficos com eixos invertidos, escalas inadequadas, conclusões incorretas, relatórios superficiais e incompletos foram os mais comuns. Ruiz-Primo e colaboradores (2004) afirmam que a qualidade do *feedback* dos professores em relação aos relatórios produzidos pelos alunos tem influência direta na aprendizagem dos mesmos. Sabemos que a falta de tempo, por exemplo, é um fator importante para que o professor deixe de dar ao aluno o devido retorno da atividade realizada.

Dessa forma, sugerimos que os professores considerem que a capacidade de escrever bons relatórios seja parte integrante do ensino baseado em investigações e que, portanto, deve ser estimulado e abordado explicitamente. Para isso, os professores podem apresentar e discutir exemplos de relatórios, auxiliar os alunos na elaboração dos primeiros relatórios, orientando-os para que eles percebam que fazer um relatório não é apenas uma descrição do que foi feito durante a atividade. O professor deve fazer com que os estudantes entendam que ao fazer o relatório eles têm a oportunidade de refletir criticamente sobre todos os passos da atividade e perceber que os procedimentos para coletar e analisar os dados estão diretamente relacionados aos objetivos da atividade, que a qualidade dos dados está relacionada com os procedimentos realizados e que as conclusões alcançadas podem confirmar ou refutar as hipóteses previamente identificadas.

Além da elaboração de relatórios, pesquisas como a realizada podem contribuir para os professores desenvolvam novas formas de avaliação para ser utilizadas nas aulas de laboratório. Tais avaliações podem contribuir para que o professor planeje e desenvolva atividades, melhorando sua prática pedagógica e para os alunos saberem como estão progredindo e o que estão aprendendo.

Os instrumentos de pesquisa desenvolvidos refletem elementos que julgamos serem importantes no laboratório e que podem ser enfatizadas. Se desejamos o desenvolvimento de conhecimentos e habilidades relativas ao processo de experimentação e de concepções mais sofisticadas sobre a natureza da ciência, formas apropriadas de avaliação desses objetivos devem ser desenvolvidas e implementadas continuamente pelos professores.

8.3 Novas questões de pesquisa

Esse estudo sugere algumas novas questões e oportunidades para novas pesquisas na área. Os resultados aqui apresentados são limitados, pois se aplicam ao grupo de estudantes participantes e o contexto da realização da pesquisa.

A evolução das metodologias dos estudos sobre o pensamento científico humano, sobretudo nas últimas décadas, possibilitou o acúmulo de formidável corpo de novos conhecimentos e resultados. Tais resultados e metodologias influenciam, de forma direta ou indireta, as pesquisas na área de cognição e ensino de ciências sobre o desenvolvimento das habilidades cognitivas relativas aos processos de resolução de problemas, raciocínio e

produção de conhecimentos. Os resultados dessas pesquisas, por sua vez, têm contribuído apenas modestamente para as mudanças nas práticas pedagógicas dentro de sala de aula e para nortear o processo de reformulação curricular que ocorre atualmente em diversos países. Os professores e formadores de professores desconhecem a pesquisa sobre ensino de ciências e também desenvolvimentos mais gerais na educação e nas ciências humanas e sociais.

Uma análise maior e mais aprofundada dos problemas enfrentados pelos estudantes durante o planejamento e execução de investigações e a avaliação de metodologias específicas para auxiliar os estudantes na compreensão dos procedimentos realizados devem ser uma prioridade para a pesquisa na área.

Portanto, pesquisas são necessárias para compreendermos melhor como ajudar os estudantes a refletir sobre o seu raciocínio e suas ações durante as atividades práticas e investigativas, proporcionando-lhes meios de perceber a importância da reflexão e da organização do seu pensamento e suas ações para a resolução de problemas práticos.

Na área da educação há uma escassez de pesquisas que têm como contexto atividades experimentais as quais permitam não só a exploração de relações de covariação e causalidade, mas, sobretudo, relações de não-covariação e não-causalidade. No contexto da educação em ciências, a maioria das atividades de laboratório baseia-se na determinação de relações causais e de covariação e, normalmente, essas relações são lineares e triviais. As relações de não-causalidade e não-covariação não são devidamente exploradas e trabalhadas com os alunos, trazendo grande dificuldade para eles quando são abordadas.

Mais pesquisas devem ser conduzidas para uma maior compreensão da origem, da natureza e do desenvolvimento dos modelos de causalidade entre as variáveis desenvolvidos pelos estudantes e a sua relação com o processo de experimentação. Acreditamos que as dificuldades enfrentadas pelos estudantes para compreender as diversas fontes de erros num experimento estão ligadas ao entendimento das relações causais entre os diversos fatores envolvidos na atividade.

Resultados experimentais são fundamentais para avaliação de causalidade entre variáveis quando se estuda um fenômeno natural. Porém, os resultados de nossa pesquisa apontam que os estudantes não conseguem comparar satisfatoriamente dois conjuntos de dados, fazer julgamentos objetivos sobre a relação de causalidade entre variáveis ou decidir se dois conjuntos de dados são equivalentes. Sobre a visão dos estudantes sobre a dispersão dos dados experimentais, podemos propor algumas questões para pesquisas futuras: (i) Quão semelhantes as médias de dois conjuntos de dados experimentais devem ser para que os estudantes considerem os conjuntos equivalentes? (ii) Quão distintas as médias de dois

conjuntos devem ser para que os estudantes considerem que há uma diferença significativa entre os conjuntos? (iii) Qual o papel da variação dos dados nessas decisões? (iv) Qual a influência do contexto nessas decisões?

Em nossa pesquisa pudemos identificar as concepções mais recorrentes dos estudantes e algumas dificuldades ao lidar com atividades práticas. Novas pesquisas são necessárias para que possamos identificar melhor o pensamento dos estudantes sobre os diversos conceitos de evidência abordados nesse trabalho. Devemos investigar, por exemplo, as concepções dos estudantes sobre os diversos tipos de erros que podem ocorrer durante o processo de experimentação, em que fase do processo eles ocorrem, como podem ser evitados ou atenuados e quais são suas influências sobre o resultado final. Devemos investigar também como as concepções dos estudantes sobre os conceitos de evidência evoluem ao longo de sua escolarização, acompanhando grupos de alunos por um período maior de tempo.

Portanto, novas propostas curriculares e atividades podem ser desenvolvidas para abordar o problema, como vem sendo feito em outras áreas do ensino de ciências. A implementação e avaliação de propostas curriculares é parte de um ciclo contínuo de pesquisa educacional que visa o desenvolvimento e o aprimoramento do ensino de ciências na educação básica.

As atividades investigativas são apontadas como mais motivadoras e interessantes para os estudantes, por incentivarem a autonomia e promoverem um maior envolvimento do estudante com o processo da experimentação. Porém, pode-se questionar tal posição. No laboratório tradicional, basta seguir os passos do roteiro pré-elaborado para se obter sucesso na atividade. Esse tipo de prática se encaixa perfeitamente numa cultura escolar voltada para o imediatismo e comodismo. Em uma atividade investigativa, exige-se mais do aluno na medida em que ele é levado a pensar durante toda a atividade. Para os alunos mais engajados, esse tipo de atividade se torna mais motivadora e desafiante. Porém, para os mais acomodados e até mesmo desinteressados, as atividades investigativas não cumpririam esse papel, pois não despertariam os interesses desses alunos. Assim, faz-se necessário determinar a real influência desses fatores emocionais durante a realização dessas atividades, se as atividades estruturadas na forma de investigações são realmente motivadoras para os estudantes de uma forma geral e como motivar aqueles alunos que não demonstram interesse por esse tipo de atividade.

É importante ressaltar, como foi discutido, que não há uma única forma para se implementar uma atividade investigativa e tampouco ela deve ser necessariamente desenvolvida em laboratórios. Assim, uma maior compreensão das principais características

das atividades investigativas e das formas como podem ser implementadas pode contribuir para que os professores possam utilizar, de forma efetiva e segura, essa estratégia de ensino.

Devido à extensão deste trabalho, não exploramos totalmente as gravações que fizemos dos grupos de alunos durante a realização das atividades práticas. Uma análise mais aprofundada desse material poderia nos fornecer indícios da ‘eficiência 1’ dessas atividades, ou seja, o que os estudantes realmente fazem e pensam durante as atividades. Essa eficiência, como vimos no capítulo 5, está relacionada diretamente com o engajamento e a motivação dos estudantes ao realizar as atividades. Com essa análise, poderíamos também definir melhor a relação entre as eficiências 1 e 2 do modelo proposto por Millar e colaboradores (2002).

Pudemos identificar grandes diferenças na qualidade dos relatórios escritos pelos estudantes. Essas diferenças podiam ser observadas na descrição dos procedimentos adotados, na apresentação e análise dos dados e na apresentação e discussão das conclusões. Keys (1999) afirma que a qualidade dos relatórios dos estudantes está relacionada com a natureza da atividade desenvolvida no laboratório. A autora ainda elenca vários fatores importantes que podem estar relacionados com a capacidade dos estudantes em escrever bons relatórios de atividades práticas: (a) o conhecimento teórico sobre o tema da atividade; (b) a percepção do estudante sobre o que constitui o discurso científico e o que é escrever um relatório; (c) o seu nível de metacognição; (d) o interesse e engajamento do aluno na atividade; (e) a sofisticação e o domínio da utilização dos conceitos de evidência.

Portanto, se desejamos utilizar os relatórios como formas de avaliação da aprendizagem dos estudantes no laboratório (o que já ocorre há muito tempo) ou adotar os relatórios como instrumento de pesquisa, devemos identificar quais os tipos de intervenções pedagógicas e atividades podem contribuir para que os estudantes escrevam bons relatórios e como esses fatores citados acima influenciam na performance dos estudantes ao escrever um relatório de uma atividade prática. Podemos investigar também qual a importância que os alunos atribuem aos relatórios. Eles percebem que podem aprender algo sobre o domínio teórico da atividade, sobre os conceitos de evidência e/ou sobre a natureza da ciência por meio da construção dos relatórios? Além disso, ainda há poucas pesquisas sobre o quê e quanto os alunos podem aprender com a elaboração de relatórios após a realização de atividades práticas.

Alguns pesquisadores (Tsai, 1998; Ryder, Leach e Driver, 1999; Leach e colaboradores 2000) defendem a hipótese de que a compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência pode afetar suas ações e decisões durante as atividades de laboratório. Porém, as dificuldades de pesquisa na área são grandes. Ainda temos pouco conhecimento

sobre como essas crenças epistemológicas afetam o raciocínio e ações do estudante durante as atividades práticas ou, até mesmo, quais crenças epistemológicas os estudantes utilizam para construir seu próprio conhecimento científico. Como vimos, grande parte das idéias dos estudantes sobre o processo de experimentação e, sobretudo, suas concepções e imagens da ciência, parecem difusas, pouco coerentes e tácitas.

Se estamos interessados em desenvolver ambientes de aprendizagem eficientes é importante que prestar atenção às crenças epistemológicas dos estudantes e desenvolver currículos e atividades desenhadas explicitamente para promover essa sofisticação epistemológica. Além disso, é necessário também, desenvolver formas diversas de avaliação dessas concepções para que seja possível a identificação de possíveis mudanças e sofisticações ao longo da aprendizagem dos estudantes.

Apesar de ser fácil sugerir que os professores de ciências tratem de forma explícita aspectos sobre a natureza da ciência durante as aulas, é necessário mais pesquisas para o desenvolvimento de atividades e propostas pedagógicas específicas para dar aos professores condições de realizar esse trabalho (McComas, 1998). Grande parte dos professores não está preparada para se antecipar sobre o que os estudantes podem pensar sobre o conhecimento científico e sobre aprendizagem em ciências e para elaborar atividades específicas que influenciem e modifiquem tais crenças.

Essa tese contribuiu para a perene discussão sobre a natureza das habilidades dos estudantes relativas ao processo de investigação científica. Criticamos a idéia de que o conhecimento procedimental seja composto apenas por técnicas práticas e táticas de investigação, transferíveis sem grandes problemas entre contextos. Propusemos que o conhecimento procedimental mobilizado pelo indivíduo durante uma atividade prática seja composto também por conhecimentos conceituais relacionados aos conceitos de evidência. Estes devem ter papel central nas aulas de laboratório de ciências dos estudantes. Porém, mais pesquisas são necessárias para testar e refinar o modelo proposto. Apenas assim poderemos entender as dificuldades enfrentadas pelos estudantes ao realizar uma atividade investigativa e desenvolver atividades, propostas pedagógicas e metodologias de avaliação que contribuam para que esses alunos tenham uma compreensão mais sofisticada dos processos e da natureza da ciência.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.A.A.S. **Science for all Americans - Project 2061**. New York: Oxford University Press, 1990. 272 p.
- ABD-EL-KHALICK, F. Over and over again: college students' views of nature of science. In: FLICK, L. B.; LEDERMAN, N. G. (Eds.). **Scientific inquiry and nature of science**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 389-425.
- ABD-EL-KHALICK, F.; BOUJAOUDE, S. An Exploratory study of the knowledge base for science teaching. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 7, p. 673-699, 1997.
- AIKENHEAD, G. S. The measurement of high school students' knowledge about science and scientists. **Science Education**, v. 57, n. 4, p. 539-549, 1973.
- AINLEY, J. Transparency in graphs and graphing tasks. An iterative design process. **Journal of Mathematical Behavior**, v. 19, p. 365-384, 2000.
- ALLIE, S., BUFFER, A., KAUNDA, L., CAMPBELL, B. E LUBBEN, F. First-year physics students' perception of the quality of experimental measurements. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 4, p. 447-459, 1998.
- ALLIE, S.; BUFFER, A.; LUBBEN, F.; CAMPBELL, B. Point and Set Paradigms in Student's Handling of Experimental Measurements. In: BEHRENDT, H.; DAHNCKE, H.; DUIT, R.; GRABER, W.; KOMOREK, M.; KOSS, A. (Eds). **Science Education: Past, Present and Future**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 331-336.
- ALTERS, B. J. Whose Nature of Science? **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 1, p. 39-55, 1997.
- AMSEL, E.; BROCK, S. The Development of Evidence Evaluation Skills. **Cognitive Development**, v.11, p.523-550, 1996.
- APPLETON, J. J.; CHRISTENSON, S. L.; KIM, D.; RESCHLY, A. L. Measuring cognitive and psychological engagement: Validation of the Student Engagement Instrument. **Journal of School Psychology**, v. 44, p. 427-445, 2006.
- BADY, R. J. Students' understanding of the logic of hypothesis testing. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 16, n. 1, p. 61-65, 1979.

- BARBERÁ, O.; VALDÉS, P. El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. **Enseñanza de las Ciencias**, v.14, n.3, p.365-379, 1996.
- BARTHOLOMEW, H.; OSBORNE, J.; RATCLIFFE, M. Teaching students "ideas-about-science": Five dimensions of effective practice. **Science Education**, v. 88, n. 5, p. 655-682, 2004.
- BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs. **American Journal of Physics**, v. 62, n. 8, p. 750-762, 1994.
- BELL, P.; LINN, M. C. Beliefs about science: How does science instruction contribute? In: HOFER, B. K.; PINTRICH, P. R. (Eds.). **Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. p. 321-346.
- BELL, R. L.; BLAIR, L. M.; CRAWFORD, B. A.; LEDERMAN, N. G. Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school student's understanding of the nature of science and scientific inquiry. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. 5, p. 487-509, 2003.
- BLALOCK, C. L.; LICHTENSTEIN, M. J.; OWEN, S.; PRUSKI, L.; MARSHALL, C.; TOEPPERWEIN, M. In Pursuit of Validity: A comprehensive review of science attitude instruments 1935-2005. **International Journal of Science Education**, v. 30, n. 7, p. 961-977, 2008.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.19, n.3, p.291-313, 2002.
- BORGES, A. T. O papel do laboratório no ensino de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, I, 1997, Águas de Lindóia, São Paulo. **Atas..**, p. 2-11.
- BORGES, A. T.; BORGES, O. **Inovar - Currículos: Desenvolvendo o Pensar e o Pensamento Científico**. Submetido em julho de 2001. (Projeto Integrado de Pesquisa apoiado pelo CNPQ 2002-2004).
- BORGES, A. T.; GOMES, A. D. T. G. Percepção de estudantes sobre desenhos de testes experimentais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 71-94, 2005.
- BORGES, A. T; RODRIGUES, B. A. A Física do som. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IV, 2003, Bauru, São Paulo. **Atas..**
- BORGES, A.T.; BORGES, O.N.; SILVA, M.V.D.; GOMES, A.D.T. A resolução de problemas práticos no laboratório escolar. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, III., 2001, Atibaia. **Atas..**

- BORGES, A.T.; BORGES, O.N; VAZ, A. Planejamento da solução de um problema. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, III., 2001, Atibaia, São Paulo. **Atas..**, p. 1-12.
- BORGES, O.; BORGES, A. T.; TALIM, S. L. Validação de um Instrumento de avaliação de mecânica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVII., 2007, São Luiz. **Anais.** , 2007.
- BORGES, O.N.; BORGES, A.T.; SILVA, M.V.D.; GOMES, A.D.T. Situações inesperadas no laboratório escolar. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, VIII., 2002, Águas de Lindóia. **Atas..**
- BOWEN, G. M.; ROTH, W. M. Data and graph interpretation practices among preservice science teachers. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 42, n. 10, p. 1063-1088, 2005.
- BRASIL, Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais**. Brasília: MEC, 1999.
- BRASIL, Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2002.
- BUEHL, M. M.; ALEXANDER, P. A. Beliefs about academic knowledge. **Educational Psychological Review**, v. 13, n. 4, p. 385-418, 2001.
- BUFFLER, A.; ALLIE, S.; LUBBEN, F.; CAMPBELL, B. The development of first year physics students' ideas about measurements in terms of point and set paradigms. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 11, p. 1137-1156, 2001.
- BURBULES, N. C., LINN, M. C. Science education and philosophy of Science: congruence or contradiction? **International Journal of Science Education**, v. 13, n. 3, p. 227-241, 1991.
- BYBEE, R. W. E DEBOER, G. E. Research on goals for the science curriculum. In: GABEL, D. (Ed.). **Handbook of Research on Science Teaching and Learning**. New York: MacMillan, 1994. p. 94-128.
- CAREY, S. Science education as conceptual change. **Journal of Applied Developmental Psychology**, v. 21, n. 1, p. 13-19, 2000.
- CAREY, S.; EVANS, R.; HONDA, M.; JAY, E.; UNGER, C. 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. **International Journal of Science Education**, v.11, n.5, p.514-529, 1989.
- CAREY, S.; SMITH, C. On understanding the nature of scientific knowledge. **Educational Psychologist**, v. 28, n. 3, p. 235-251, 1993.

- CARPENTER, P. A.; SHAH, P. A model of the perceptual and conceptual processes in graph comprehension. **Journal of Experimental Psychology: Applied**, v. 4, n. 2, p. 75-100, 1998.
- CHEN, Z.; KLAHR, D. All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. **Child Development**, v.70, n.5, p.1098-1120, 1999.
- CHINN, C. A. E MALHOTRA, B. A. Children's Responses to Anomalous Scientific Data: How Is Conceptual Change Impeded? **Journal of Educational Psychology**, v. 94, n. 2, p. 327-343, 2002.
- CHINN, C. A. E MALHOTRA, B. A. Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. **Science Education**, v. 86, n. 2, p. 175-218, 2002.
- CHINN, C. A.; BREWER, W. F. An Empirical Test of a Taxonomy of Responses to Anomalous Data in Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v.35, n.6, p.623-654, 1998.
- CHINN, C. A.; BREWER, W. F. Models of Data: A Theory of How People Evaluate Data **Cognition and Instruction**, v. 19, n. 3, p. 323-393, 2001.
- CHINN, C. A.; BREWER, W. F. The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. **Review of Educational Research**, v.63 , n.1, p.1-49, 1993.
- COELHO, S. M.; SÉRÉ, M. G. Pupils' reasoning and practice during hands-on activities in the measurement phase. **Research in Science & Technological Education**, v. 16, n. 1, p. 79-96, 1998.
- CONLEY, A. M.; PINTRICH, P. R.; VEKIRI, I.; HARRISON, D. Changes in epistemological beliefs in elementary science students. **Contemporary Educational Psychology**, v. 29, p. 186-204, 2004.
- COUTINHO, M. T. C.; MOREIRA, M. **Psicologia da Educação**. Belo Horizonte: Editora Lê, 2001. 215 p.
- CURCIO, F. R. Comprehension of mathematical relationships expressed in graphs. **Journal for Research in Mathematics Education**, v. 18, n. 5, p. 382-393, 1987.
- DISESSA, A. A. Toward an Epistemology of Physics. **Cognition and Instruction**, v.10, n.2 & 3, p.105-225, 1993.
- DORAN, R. L.; LAWRENZ, F.; HELGESON, S. Research on Assessment in Science. In: GABEL, D. (Ed). **Handbook of Research on Science Teaching and Learning**. New York: MacMillan, 1994. p. 388-442.

DRIVER, R.; LEACH, J.; MILLAR, R.; SCOTT, P. **Young people's images of science**. Buckingham: Open University Press, 1996.

DRIVER, R.; NEWTON, P.; OSBORNE, J. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. **Science Education**, v. 84, n. 3, p. 287-312, 2000.

DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P.; ROBINSON, V. W. **Making sense of secondary science: research into children's ideas**. London: Routledge, 1994, 210 p.

DUGGAN, S., JOHNSON, P. E GOTT, R. A Critical Point in Investigative Work: Defining Variables. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 33, n. 5, p. 461-474, 1996.

DUGGAN, S.; GOTT, R. The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. **International Journal of Science Education**, v.17, n.2, p.137-147, 1995.

DUNBAR, K. How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. In: STERNBERG, R. J.; DAVIDSON, J. (Eds.). **Mechanisms of insight**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1995. p. 365-395.

DUNBAR, K. How Scientists Think in the Real World: Implications for Science Education. **Journal of Applied Developmental Psychology**, v. 21 , n. 1, p. 49-51, 2000.

EDMONDSON, K. M.; NOVAK, J. D. The interplay of scientific epistemological views, learning strategies, and attitudes of college students. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 6, p. 547-559, 1993.

ELBY, A.; HAMMER, D. On the substance of a Sophisticated epistemology. **Science Education**, v. 85, n. 5, p. 554-561, 2001.

ELDER, A. D. Characterizing fifth grade students' epistemological beliefs in science. In: HOFER, B. K.; PINTRICH, P. R. (Eds). **Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. p. 347-363.

FAIRBROTHER, B. Principles of practical assessment. In: WOOLNOUGH, B. E. (Ed). **Practical Science. The role and reality of practical work in school science**. Philadelphia: Open University Press, 1991. p. 153-166.

FLICK, L. B.; LEDERMAN, N. G. **Scientific inquiry and nature of science. Implications for teaching, learning, and teacher education**. Dordrecht: Springer, 2006. 453 p.

FORSTER, P. A. Graphing in physics: processes and sources of errors in tertiary entrance examinations in western Australia. **Research in Science Education**, v. 34, p. 239-265, 2004.

- FRASER, B. J.; GIDDINGS, G. J.; MCROBBIE, C. J. Evolution and Validation of Personal Form of an Instrument for Assessing Science Laboratory Classroom Environments. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 32, n. 4, p. 399-422, 1995.
- FRASER, B. J.; MCROBBIE, C. J.; GIDDINGS, G. J. Development and Cross-National Validation of a Laboratory Classroom Environment Instrument for Senior High School Science. **Science Education**, v. 77, n. 1, p. 1-24, 1993.
- FREDRICKS, J. A.; BLUMENFELD, P. C.; PARIS, A. H. School Engagement: Potential of the Concept, State of the Art. **Review of Educational Research**, v. 74, n. 1, p. 59-109, 2004.
- FRIEL, S. N.; CURCIO, F. R.; BRIGHT, G. W. Making Sense of Graphs: Critical Factors Influencing Comprehension and Instructional Implications. **Journal of Research in Mathematics Education**, v. 32, n. 2, p. 124-158, 2001.
- GALLAGHER, J. J. Prospective and practicing secondary school science teachers' knowledge and beliefs about the philosophy of science. **Science Education**, v. 75, n. 1, p. 121-133, 1991.
- GATTIS, M.; HOLYOAK, K. J. Mapping conceptual to spatial relations in visual reasoning. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, v. 22, n. 1, p. 231-239, 1996.
- GERMANN, P. J.; HASKINS, S.; AULS, S. Analysis of Nine High School Biology Laboratory Manuals: Promoting Scientific Inquiry. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 33, n. 5, p. 475-499, 1996.
- GIDDINGS, G. J.; HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. Assessment and evaluation in the science laboratory. In: WOOLNOUGH, B. (Ed.). **Practical Science**. Milton Keynes: Open University Press, 1991. p. 167-177.
- GIL, D; FERNANDEZ, I.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v.7, n.2, p.125-153, 2001.
- GILBERT, J.; BOULTER, C. (Eds.). **Developing Models in Science Education**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- GOMES, A. D. T.; BORGES, A. T.; JUSTI, R. Students' Performance in Investigative Activity and Their Understanding of Activity Aims. **International Journal of Science Education**, v. 30, n. 1, p. 109-135, 2008.
- GOMES, A.D.T.; BORGES, A.T. Controle de variáveis e experimentação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, VIII., 2002, Águas de Lindóia. **Atas**.

GOMES, A.D.T.; BORGES, A.T. Fatores que influenciam no desempenho de estudantes durante a experimentação. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, IX, 2004, Jaboticatubas, MG. **Atas.**

GOMES, A.D.T.; BORGES, A.T. Percepção de estudantes sobre desenho de testes experimentais. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IV, 2003, Bauru. **Atas.**

GOMES, A.D.T.; BORGES, A.T.; JUSTI, R. S. Modelos de causalidade e o processo de experimentação. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO DA REGIÃO SUDESTE, VII., 2005, Belo Horizonte. **Atas.** 2005.

GOMES, A.D.T.; BORGES, A.T.; JUSTI, R. S. O desempenho de estudantes na realização de investigações. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, V., 2005, Bauru, SP. **Atas.**

GOMES, A.D.T.; SILVA, M.V.D, BORGES, A.T e BORGES, O. N. Formação e desenvolvimento das habilidades relativas ao processo de investigação mediado por sensores. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, II., 1999, Valinhos. **Atas.**

GOMES, D.T.G. Reconhecimento e uso de testes experimentais no laboratório escolar. 2005. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação da UFMG, Belo Horizonte.

GOTT, R.; DUGGAN, S. **Investigative Work in the Science Curriculum.** Buckingham: Open University Press, 1995. 146 p.

GOTT, R.; DUGGAN, S. Practical work: its role in the understanding of evidence in science. **International Journal of Science Education**, v. 18, n. 7, p. 791-806, 1996.

GOTT, R.; DUGGAN, S. **Understanding and using scientific evidence.** London: SAGE Publications, 2003. 198 p.

GOTT, R.; MASHITER, J. Practical work in science - a task based approach? In: WOOLNOUGH, B.E. (Ed.). **Practical Science. The role and reality of practical work in school science.** Philadelphia: Open University Press, 1991. p. 53-66.

Haidar, A. H. Emirates pre-service and in-service teacher's views about the nature of science. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 8, p. 807-822, 1999.

HAMMER, D. Epistemological considerations in Teaching introductory physics. **Science Education**, v. 79, n. 4, p. 393-413, 1994.

HAMMER, D.; ELBY, A. On the form of a personal epistemology. In: HOFER, B. K.; PINTRICH, P. R. (Eds.). **Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing.** Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. p. 169-190.

HART, C.; MULHALL, P.; BERRY, A.; LOUGHRAN, J.; GUNSTONE, R. What is the Purpose of this Experiment? Or Can Students Learn Something from Doing Experiments. **Journal of Research in Science Teaching**, v.37, n.7, p.655-675, 2000.

HERRON, M. D. The nature of scientific inquiry. **School Review**, vol. 79, p.171-212, 1971.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v.20, n.2, p.53-66, 1988.

HODSON, D. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. **International Journal of Science Education**, v.14, n.5, p.541-562, 1992.

HODSON, D. Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. **Journal of Curriculum Studies**, v. 28, n. 2, p. 115-135, 1996.

HODSON, D. Practical work in school science: exploring some directions for change. **International Journal of Science Education**, v. 18, n. 7, p. 755-760, 1996.

HODSON, D. Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. **Studies in Science Education**, v. 22, p. 85-142, 1993.

HODSON, D. Toward a Philosophically More Valid Science Curriculum. **Science Education**, v. 72, n. 1, p. 19-40, 1988.

HOFER, B. K. Dimensionality and disciplinary differences in personal epistemology. **Contemporary Educational Psychology**, v. 25, p. 378-405, 2000.

HOFER, B. K.; PINTRICH, P. R. **Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. 430 p.

HOFER, B. K.; PINTRICH, P. R. The Development of Epistemological Theories: Beliefs About Knowledge and Knowing and Their Relation to Learning. **Review of Educational Research**, v. 67, n. 1, p. 88-140, 1997.

HOFSTEIN, A. Practical Work and Science Education II. In: FENSHAM, P. **Development and dilemmas in science education**. London: The Falmer Press, 1988. p. 189-217.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. **Review of Educational Research**, v.52, n.2, p.201-217, 1982.

HOFSTEIN, A.; NAVON, O.; KIPNIS, M.; MAMLOK-NAAMAN, R. Developing Students' Ability to Ask More and Better Questions Resulting from Inquiry-Type Chemistry Laboratories. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 42, n. 7, p. 791-806, 2005.

HOGAN, K. Exploring a Process View of Students' Knowledge about the Nature of Science. **Science Education**, v. 84, n. 1, p. 51-70, 2000.

INHELDER, B.; PIAGET, J. **Da lógica da criança à lógica do adolescente**. São Paulo: Pioneira, 1976.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS. Exame Nacional do Ensino Médio. **Enem: relatório pedagógico 2000** / Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais. Brasília: O Instituto, 2001. 161 p

JEONG, H.; SONGER, N. B.; LEE, S. Y. Evidentiary competence: Sixth graders' understanding for gathering and interpreting evidence in scientific investigation. **Research in Science Education**, v. 37, p. 75-97, 2007.

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

KANG, S.; SCHARMANN, L.C.; NOH, T. Reexamining the Role of Cognitive Conflict in Science Concept Learning. **Research in Science Education**, v. 34, p. 71-96, 2004.

KELLY, G. J.; CHEN, C.; CRAWFORD, T. Methodological considerations for studying science-in-making in educational settings. **Research in Science Education**, v. 28, n. 1, p. 23-49, 1998.

KEYS, C. W. Language as an indicator of meaning generation: An analysis of middle school students' written discourse about scientific investigation. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 9, p. 1044, 1061 1999.

KEYS, C. W.; HAND, B.; PRAIN, V.; COLLINS, S. Using the science writing heuristic as a tool for learning from laboratory investigations in secondary science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 10, p. 1065-1084, 1999.

KHISHFE, R.; ABD-EL-KHALICK. Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth grader's views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 7, p. 551-578, 2002.

KHISHFE, R.; LEDERMAN, N. Relationship between instructional context and views of nature of science. **International Journal of Science Education**, v. 29, n. 8, p. 939-961, 2007.

KLAHR, D. **Exploring Science: the Cognition and Development of Discovery Process**. Cambridge: MIT Press, 2000. 239 p.

KLAHR, D.; DUNBAR, K. Dual Space Search During Scientific Reasoning. **Cognitive Science**, v.12, n.1, p.1-48, 1988.

- KLAHR, D.; FAY, A. L.; DUNBAR, K. Heuristics for Scientific Experimentation: A Developmental Study. **Cognition and Instruction**, v.25, p.111-146, 1993.
- KLAHR, D.; SIMON, H. A. What Have Psychologists (And Others) Discovered About the Process of Scientific Discovery. v.10, n.3, p.75-79, 2001.
- KLAININ, S. Practical Work and Science Education I. In: FENSHAM, P. **Development and dilemmas in science education**. London: The Falmer Press, 1988. p. 169-188.
- KLAYMAN, J. E HA, Y. Hypothesis Testing in Rule Discovery: Strategy, Structure, and Content. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, v. 15, n. 4, p. 596-604, 1989.
- KLAYMAN, J.; HA, Y. Confirmation, Disconfirmation, and Information in Hypothesis Testing. **Psychological Review**, v.94, n.2, p.211-228, 1987.
- KOERBER S.; SODIAN, B.; THOERMER, C.; NETT, U. Scientific Reasoning in Young Children: Preschoolers' Ability to Evaluate Covariation Evidence. **Swiss Journal of Psychology**, 64 (3), 141–152, 2005.
- KOSLOWISKI, B. **Theory and Evidence: The Development of Scientific reasoning**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1996. 288 p.
- KOSLOWSKI, B.; OKAGAKI, L.; LORENZ, C.; UMBACH, D. When Covariation Is Not Enough: The Role of Causal Mechanism, Sampling Method, and Sample Size in Causal Reasoning. **Child Development**, v.60, p.1316-1327, 1989.
- KUHN, D.; AMSEL, E.; O'LOUGHLIN, M. **The Development of Scientific Thinking Skills**. San Diego, California: Academic Press, Inc, 1988. 249 p.
- KUHN, D.; ANGELEV, J. An Experimental Study of the Development of Formal Operational Thought. **Child Development**, v.47, p.697-706, 1976.
- KUHN, D.; BLACK, J.; KESELMAN, A.; KAPLAN, D. The Development of Cognitive Skills To Support Inquiry Learning. **Cognition and Instruction**, v.18, n.4, p.495-523, 2000.
- KUHN, D.; BRANNOCK, J. Development of the Isolation of Variables Scheme in Experimental and "Natural Experiment" Context. **Developmental Psychology**, v.13, n.1, p.9-14, 1977.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 2 ed. São Paulo: Perspectiva, 1998.
- KUNG, R. L. Teaching the concepts of measurement: An example of a concept-based laboratory course. **American Journal of Physics**, v. 73, n. 8, p. 771-777, 2005.

KUNG, R. L.; LINDER, C. University students' ideas about data processing and data comparison in a physics laboratory course. **Nordic Studies in Science Education**, v. 4, p. 40-53, 2006.

LAROCHELLE, M.; DÉSAUTELS, J. 'Of course, it's just obvious' : adolescents' ideas of scientific knowledge. **International Journal of Science Education**, v. 13, n. 4, p. 373-389, 1991.

LATOUR, B. **Ciência em Ação**. São Paulo: Editora Unesp, 1998.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **A vida em laboratório: a produção dos fatos científicos**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1998, 312 p.

LAWSON, A. E. The Reality of General Cognitive Operations. **Science Education**, v.66, n.2, p.229-241, 1982.

LAZAROWITZ, R.; TAMIR, P. Research on using laboratory instruction in science. In: GABEL, D. (Ed.). **Handbook of Research on Science Teaching and Learning**. New York: MacMillan, 1994. p. 94-128.

LEACH, J. Learning science in the laboratory. The importance of epistemological understanding. In: LEACH, J.; PAULSEN, A. C. (Eds.). **Practical Work in Science Education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 134-147.

LEACH, J. Teaching about the world of science in the laboratory. In: WELLINGTON, J. (Ed.). **Practical work in school science. Which way now?** London: Routledge, 1998. p. 52-68.

LEACH, J. The use of secondary data in teaching about data analysis in a first year undergraduate biochemistry course. In: PSILLOS, D.; NIEDDERER, H. (Eds.). **Teaching and learning in the science laboratory**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 165-178.

LEACH, J.; MILLAR, R.; RYDER, J.; SÉRÉ, M.G. Epistemological understanding in science learning: the consistency of representations across contexts. **Learning and Instruction**, v. 10, p. 497-527, 2000.

LEACH, J.; PAULSEN, A. C. (EDS.). **Practical Work in Science Education: Recent research studies**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. 329 p.

LEDERMAN, ABD-EL-KHALICK, F., BELL, R. L. E SCHWARTZ, R. S. Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.

LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.

- LEDERMAN, N. G.; O'MALLEY, M. Students' perception of tentativeness in science: Development, use, and sources of change. **Science Education**, v. 74, n. 2, p. 225-239, 1990.
- LEDERMAN, N.; WADE, P.; BELL, R. Assessing the Nature of Science: What is the Nature of Our Assessments? **Science & Education**, v. 7, p. 595-615, 1998.
- LEDERMAN, N.; WADE, P.; BELL, R. L. Assessing understanding of the nature of science: A historical perspective. In: MCCOMAS, W. F. (Ed.). **The nature of science in science education. Rationales and Strategies**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 331-350.
- LEINHARDT, G.; ZASLAVSKY, O.; STEIN, M. K. Functions, Graphs, and Graphing: Tasks, Learning, and Teaching. **Review of Educational Research**, v. 60, n. 1, p. 1-64, 1990.
- LIJNSE P. L. Developmental Research as a way to an empirically based Didactical Structure of Science. **Science Education**, v. 79, p. 189-199, 1995.
- LUBBEN, F.; CAMPBELL, B.; BUFFLER, A.; ALLIE, S. Point and set reasoning in practical science measurement by entering university freshmen. **Science Education**, v. 85, n. 4, p. 311-327, 2001.
- LUBBEN, F.; CAMPBELL, B.; BUFFLER, A.; ALLIE, S. The influence of context on judgements of the quality of experimental measurements. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE SOUTHERN AFRICA ASSOCIATION FOR RESEARCH IN MATHMATHICS, SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION, XII., 2004, Durban. **Proceedings**, 2004.
- LUBBEN, F.; MILLAR, R. Children's ideas about the reliability of experimental data. **International Journal of Science Education**, v. 18, n. 8, p. 955-968, 1996.
- LUCAS, A. M. Hidden Assumptions in measures of 'knowledge about science and scientists'. **Science Education**, v. 59, n. 4, p. 481-485, 1975.
- LUCAS, K. B.; ROTH, W. The Nature of Scientific Knowledge and Student Learning: Two Longitudinal Case Studies **Research in Science Education**, v. 26, n. 1, p. 103-127, 1996.
- LUNETTA, V. N. The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In: FRASER, B. J.; TOBIN, K. G. (Eds). **International Handbook of Science Education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 249-262.
- MACEDO, L. Competências e habilidades: elementos para uma reflexão pedagógica. In: Ministério da Educação/Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM): fundamentação teórico-metodológica**. Brasília: MEC/INEP, 2005. p. 13-28.

MACHAMER, P. Philosophy of science: An overview for educators. **Science & Education**, v. 7, p. 1-11, 1998.

MASNICK, A. M.; KLAHR, D. Error matters: an initial exploration of elementary school children's understanding of experimental error. **Journal of Cognition and Development**, v. 4, n. 1, p. 67-98, 2003.

MASNICK, A. M.; MORRIS, B. J. Reasoning from data: the effect of sample size and variability on children's and adults' conclusions. In: GRAY, W. D. e SCHUNN, C. D. (Eds.). *ANNUAL CONFERENCE OF THE COGNITIVE SCIENCE SOCIETY, XXIV* (pp.643-648). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. **Proceedings**, 2002.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MATTHEWS, M. R. The Nature of Science and Science Teaching. In: FRASER, B. J.; TOBIN, K.G. (Eds). **International Handbook of Science Education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 981-999.

MCCOMAS, W. F. (ED.). **The nature of science in science education. Rationales and Strategies**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. 365 p.

MCCOMAS, W. F.; CLOUGH, M. P.; ALMAZROA, H. The Role And Character of The Nature of Science in Science Education. In: MCCOMAS, W. F. (Ed.). **The nature of science in science education. Rationales and Strategies**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 3-39.

MCCOMAS, W. F.; OLSON, J. K. The nature of science in international science education standards documents. In: MCCOMAS, W. F. (Ed.). **The nature of science in science education. Rationales and Strategies**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 41-52.

MCCORMICK, R. Conceptual and procedural knowledge. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 7, p. 141-159, 1997.

MCDERMOTT, L. C.; ROSENQUIST, M. L.; VAN ZEE, E. H. Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. **American Journal of Physics**, v. 55, n. 6, p. 503-513, 1987.

MEICHTRY, Y. Elementary science teaching methods: Developing and measuring student views about the nature of science. In: MCCOMAS, W. F. (Ed.). **The nature of science in science education: Rationales and strategies**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 231-241.

MEVARECH, Z. R.; KRAMARSKY, B. From verbal descriptions to graphic representations: stability and change in students' alternative conceptions. **Educational Studies in Mathematics**, v. 32, p. 229-263, 1997.

- MEYLING, H. How to change students' conceptions of the epistemology of science. **Science & Education**, v. 6, p. 397-416, 1997.
- MILLAR, R. A means to an end: the role of processes in science education. In: WOOLNOUGH, B. E. **Practical Science. The role and reality of practical work in school science**. Philadelphia: Open University Press, 1991. p.43-52.
- MILLAR, R. Science Curriculum for all. **School Science Review**, v.77, n. 280, p.7-18, 1996.
- MILLAR, R. Students' understanding of the procedures of scientific enquiry. In: TIBERGHIE, A., JASSEM, E. L. E BAROJAS, J. (Eds). **Connecting Research in Physics Education with Teacher Education**. : An I.C.P.E. Book, 1998.
- MILLAR, R. What is 'scientific method' and can it be taught? In: WELLINGTON, J. (Ed.). **Skills and Processes in Science Education: a critical analysis**. London: Routledge, 1989. p. 47-62.
- MILLAR, R.; DRIVER, R. Beyond Processes. **Studies in Science Education**, v.14, p.33-62, 1987.
- MILLAR, R.; LE MARÉCHAL, J-F; TIBERGHIE, A. 'Mapping' the domain. Varieties of practical work. In: LEACH, J.; PAULSEN, A. C. (Eds.). **Practical Work in Science Education: recent research studies**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 33-59.
- MILLAR, R.; LUBBEN, F.; GOTT, R.; DUGGAN, S. Investigating in the school science laboratory: conceptual and procedural knowledge and their influence on performance. **Research Papers in Education**, v. 9, n. 2, p. 207-248, 1994.
- MILLAR, R.; OSBORNE, J. **Beyond 2000: Science education for the future**. London: King's College, School of Education, 1998.
- MILLAR, R.; TIBERGHIE, A.; LE MARÉCHAL, J-F. Varieties of labwork: A way of profiling labwork tasks. In: PSILLOS, D.; NIEDDERER, H. (Eds.). **Teaching and learning in the science laboratory**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 9-20.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada. Uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 297 p.
- MINSTRELL, J.; VAN ZEE, E. H. (EDS). **Inquiring into inquiry. Learning and teaching in science**. New York: American Association for the Advancement of Science, 2000. 496 p.
- MONK, M. On the identification of principles in science that might inform research into students' beliefs about natural phenomena. **International Journal of Science Education**, v. 17, n. 5, p. 565-573, 1995.

- MOORE, W. S. Understanding learning in a posmodern world: Reconsidering the Perry scheme of intellectual and ethical development. In: HOFER, B. K.; PINTRICH, P. R. (Eds.). **Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. p. 17-36.
- MOREIRA, M. A. E OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 10, n. 2, p. 108-117, 1993.
- MOSS, D. M.; ABRAMS, E. D.; ROBB, J. Examining student's conceptions of the nature of science. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 8, p. 771-790, 2001.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning**. Washington, DC: National Academy Press, 2000. 224 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **National Science Education Standards**. Washington, DC: National Academy Press, 1996.
- NOVAK, J. D. An Alternative to Piagetian Psychology for Science and Mathematics Education. **Science Education**, v.61, n.4, p.453-477, 1977.
- NTOMBELA, G. M. A marriage of inconvenience? School science practical work and the nature of science. In: LEACH, J.; PAULSEN, A. (Eds). **Practical Work in Science Education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 118-133.
- OLIVA, J. M. Structural patters in students' conceptions in mechanics. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 9, p. 903-920, 1999.
- OSBORNE, J. Science education without a laboratory? In: WELLINGTON, J. (Ed). **Practical Work in School Science. Which way now**. London: Routledge, 1998. p. 156-173.
- OSBORNE, J.; COLLINS, S.; RATCLIFFE, M.; MILLAR, R.; DUSCHL, R. What "ideas-about-science' should be taught in school science? A delphi study of the expert community. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. 7, p. 692-720, 2003.
- PARK, J.; PAK, S. Students' Responses to Experimental Evidence Based on Perceptions of Causality and Availability of Evidence. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 1, p. 57-67, 1997.
- PENNER, D. E.; KLAHR, D. The Interaction of Domain-Specific Knowledge and Domain-General Discovery Strategies: A Study with Sinking Objects. **Child Development**, v.67, p. 2709-2727, 1996.
- PINTRICH, P. R. Future challenges and directions for theory and research on personal epistemology. In: HOFER, B. K.; PINTRICH, P. R. (Eds.). **Personal epistemology: The**

- psychology of beliefs about knowledge and knowing.** Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. p. 389-414.
- POMEROY, D. Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparisons of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. **Science Education**, v. 77, n. 3, p. 261-278, 1993.
- PSILLOS, D.; NIEDDERER, H. (EDS.). **Teaching and learning in the science laboratory.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 267 p.
- PSILLOS, D.; NIEDDERER, H. Issues and questions regarding the effectiveness of labwork. In: PSILLOS, D.; NIEDDERER, H. (Eds.). **Teaching and learning in the science laboratory.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 21-30.
- ROBERTS, R.; GOTT, R. Assessment of biology investigations. **Journal of Biological Education**, v. 37, n. 3, p. 114-121, 2003.
- ROLLNICK, M.; DLAMINI, B.; LOTZ, S.; LUBBEN, F. Views of south Africa chemistry students in university bridging programs on the reliability of experimental data. **Research in Science Education**, v. 31, p. 553-573, 2001.
- ROLLNICK, M.; LUBBEN, F.; LOTZ, S.; DLAMINI, B. What do Underprepared Students Learn about Measurement from Introductory Laboratory Work? **Research in Science Education**, v. 32, n. 1, p. 1-18, 2002.
- ROTH, W. E ROYCHOUDHURY, A. Physics Students' Epistemologies and Views about Knowing and Learning. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. SUPPLEMENT, p. S114-S139, 2003.
- ROTH, W. M. **Authentic School Science.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- ROTH, W. M.; ARDENGHI, L. P.; HAN, J. Y. **Critical Graphicacy. Understanding visual representation practices in school science.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2007. 284 p.
- ROTH, W. M.; ROYCHOUDHURY, A. The development of science process skills in authentic contexts. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 2, p. 127-152, 1993.
- ROTH, W.M.; MCGINN, M. K. Graphing: Cognitive ability or practice? **Science Education**, v. 81, n. 1, p. 91-106, 1997.
- ROWELL, J.A. Towards controlling variables: A theoretical appraisal and a teachable result. **European Journal of Science Education**, v. 6, n. 2, p. 115-130, 1984.

ROYCHOUDHURY, A.; ROTH, W. M. Interactions in an open-inquiry physics laboratory. **International Journal of Science Education**, v.18, n.4, p.423-445, 1996.

RUBBA, P. A.; ANDERSEN, H. O. Development of an Instrument to Assess Secondary School Students' Understanding of the Nature of Scientific Knowledge. **Science Education**, v. 62, n. 4, p. 449-458, 1978.

RUFFMAN, T.; PERNER, J.; OLSON, D.R.; DOHERTY, M. Reflecting on Scientific Thinking: Children's Understanding of the Hypothesis-Evidence Relation. **Child Development**, v.64, p.1617-1636, 1993.

RUIZ-PRIMO, M. A.; LI, M.; AYALA, C.; SHAVELSON, R. J. Evaluating students' science notebooks as an assessment tool. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 12, p. 1477-1506, 2004.

RYAN, A. G.; AIKENHEAD, G. S. Students' preconceptions about the epistemology of science. **Science Education**, v. 76, n. 6, p. 559-580, 1992.

RYDER, J.; LEACH, J.; DRIVER, R. Undergraduate Science Students' Images of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 2, p. 201-219, 1999.

RYDER, J.; LEACH, J. University science student's experiences of investigative project work and their images of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 21, n. 9, p. 945-956, 1999.

RYDER, J.; LEACH, J.; DRIVER, R. The interaction between undergraduate science students' images of the nature of science and their experiences of learning science. In: EUROPEAN SCIENCE EDUCATION RESEARCH ASSOCIATION CONFERENCE, I., 1997, Roma, **Proceedings...**

SANDOVAL, W. A. Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. **Science Education**, v. 89, n. 4, p. 634-656, 2005.

SANDOVAL, W. A.; MORRISON, K. High School Students' Ideas about Theories and Theory Change after a Biological Inquiry Unit. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. 4, p. 369-392, 2003.

SANDOVAL, W. A.; REISER, B. J. Explanation-driven inquiry: integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. **Science Education**, v. 88, n. 3, p. 345-372, 2004.

SCHAUBLE, L. Belief Revision in Children: The Role of Prior Knowledge and Strategies for Generating Evidence. **Journal of Experimental Child Psychology**, v.49, p.31-57, 1990.

SCHAUBLE, L. The Development of Scientific Reasoning in Knowledge-Rich Contexts. **Developmental Psychology**, v.32, n.1, p.102-119, 1996.

SCHAUBLE, L.; KLOPFER, L. E.; RAGHAVAN, K. Students' Transition from an Engineering Model to a Science Model of Experimentation. **Journal of Research in Science Teaching**, v.28 , n.9, p.859-882, 1991.

SCHOMMER, M. Effects of beliefs about the nature of knowledge on comprehension. **Journal of Educational Psychology**, v. 82, n. 3, p. 498-504, 1990.

SCHOMMER, M. Epistemological development and academic performance among secondary students. **Journal of Educational Psychology**, v. 85, n. 3, p. 406-411, 1993.

SCHRAW, G.; BENDIXEN, L. D.; DUNKLE, M. E. Development and validation of the Epistemic Belief Inventory (EBI). In: HOFER, B. K.; PINTRICH, P. R. (Eds.). **Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. p. 261-275.

SCHWARTZ, R. S.; LEDERMAN, N. G.; CRAWFORD, B. A. Developing views of nature of science in an authentic context: an explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. **Science Education**, v. 88, n. 4, p. 610-645, 2004.

SÉRÉ, M. G.; JOURNEAUX, R.; LARCHER, C. Learning the statistical analysis of measurement errors. **International Journal of Science Education**, v. 15, n. 4, p. 427-438, 1993.

SÉRÉ, M.G., GONZALEZ, M.F., GALLEGOS, J. A., GARCIA, F.G., MANUEL, E., PARALES, F. J., LEACH, J. Images of Science Linked to Labwork: A Survey of Secondary School and University Students. **Research in Science Education**, v. 31, p. 499-523, 2001.

SHAH, P.; HOEFFNER, J. Review of graph comprehension research: implications for instruction. **Educational Psychology Review**, v. 14, n. 1, p. 47-69, 2002.

SHAH, P.; MAYER, R. E.; HEGARTY, M. Graphs as aids to knowledge construction: Signaling techniques for guiding the process of graph comprehension. **Journal of Educational Psychology**, v. 91, n. 4, p. 690-702, 1999.

SHAKLEE, H.; PASZEK, D. Covariation judgment: Systematic rule use in middle childhood. **Child Development**, 56,1229–1240, 1985.

SMITH, C. L.; MACLIN, D.; HOUGHTON, C.; HENNESSEY, M. G. Sixth-Grade Students' Epistemologies of Science: The Impact of School Science Experiences on Epistemological Development. **Cognition and Instruction**, v. 18, n. 3, p. 349-422, 2000.

SMITH, M. U.; SCHARMANN, L. C. Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators. **Science Education**, v. 83, n. 4, p. 493-509, 1999.

SODIAN, B.; ZAITCHIK, D.; CAREY, S. Young Children's Differentiation of Hypothetical Beliefs from Evidence. **Child Development**, v.62, p.753-766, 1991.

SOLANO-FLORES, G.; SHAVELSON, R. F.; BACHMAN, M. On the development and evaluation of a shell for generating science performance assessments. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 3, p. 292-315, 1999.

SOLOMON, J.; DUVEEN, J.; SCOTT, L. Pupils' images of scientific epistemology. **International Journal of Science Education**, v. 16, n. 3, p. 361-373, 1994.

SONG, J. E BLACK, P. J. The effects of concept requirements and task context on pupils' performance in control of variables. **International Journal of Science Education**, v. 14, n. 1, p. 83-93, 1992.

SONG, J. E BLACK, P. J. The effects of task context on pupils' performance in science progress skills. **International Journal of Science Education**, v. 13, n. 1, p. 49-58, 1991.

SONGER, N. B.; LINN, M. C. How do students' views of science influence knowledge integration? **Journal of Research in Science Teaching**, v. 28, n. 9, p. 761-784, 1991.

SOUTHERLAND, S. A.; JOHNSTON, A.; SOWELL, S.; SETTLAGE, J. Perhaps triangulation isn't enough: a call for crystallization as a methodological referent in NOS research. Teacher Education Research Community. **TERC Documents**: University of Connecticut, 2005. 17 p.

STATHOPOULOU, C.; VOSNIADOU, S. Conceptual change in physics and physics-related epistemological beliefs: a relationship under scrutiny. In: VOSNIADOU, S.; BALTAS, A.; VAMVAKOUSSI, X. (Eds.). **Reframing the conceptual change approach in learning and instruction**. : Elsevier, 2007. p. 145-163.

STATHOPOULOU, C.; VOSNIADOU, S. Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding. **Contemporary Educational Psychology**, v. 32, p. 255-281, 2007.

STAVY, R.; TIROSH, D. Intuitive rules in science and mathematics: the case of 'more of A - more of B'. **International Journal of Science Education**, v. 18, n. 6, p. 653-667, 1996.

TAMIR, P. Practical work in school science: an analysis of current practice. In: WOOLNOUGH, B. E. **Practical Science. The role and reality of practical work in school science**. Philadelphia: Open University Press, 1991. p.13-20.

TAMIR, P.; GARCIA, M. P. Characteristics of laboratory exercises included in science textbooks in Catalonia (Spain). **International Journal of Science Education**, v.14 , n.4, p. 381-392, 1992.

TAMIR, P.; LUNETTA, V. N. Inquiry-Related Tasks in High School Science Laboratory Handbooks. **Science Education**, v.65, n.5, p.477-484, 1981.

- THOERMER, C.; SODIAN, B. Science undergraduates' and graduates' epistemologies of science: the notion of interpretive frameworks. **New Ideas in Psychology**, v. 20, p. 263-283, 2002.
- TIBERGHIE, A.; VEILLARD, L. MARECHAL, J.; BUTY, C.; MILLAR, R. An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. **Science Education**, v. 85, n. 4, p. 483-508, 2001.
- TSAI, C. "Laboratory Exercises Help Me Memorize the Scientific Truths": A Study of Eighth Graders' Scientific Epistemological Views and Learning in Laboratory Activities. **Science Education**, v. 83, n. 6, p. 654-674, 1998.
- TSCHIRGI, J. E. Sensible Reasoning: A Hypothesis about Hypotheses. **Child Development**, v.51, p.1-10, 1980.
- VAN JOOLINGEN, W. R.; DE JONG, T. An extended dual search space model of scientific discovery learning. **Instructional Science**, v.25, p.307-346, 1997.
- VANLEHN, K. Problem Solving and Cognitive Skill Acquisition. In: POSNER, M. I. (Ed.). **Foundations of Cognitive Science**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1989. p. 527-579.
- VARELA, M. P. N.; MARTINEZ, M. M. A. Una estrategia de cambio conceptual en la enseñanza de la física: la resolución de problemas como actividad de investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v.15 , n.2, p.173-188, 1997.
- VARELAS, M. Third and Fourth Graders' Conceptions of Repeated Trials and Best Representatives in Science Experiments. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 9, p. 853-872, 1997.
- VOSS, J. F., WILEY, J. E CARRETERO, M. Acquiring Intellectual Skills. **Annual Review of Psychology**, v. 46, p. 155-182, 1995.
- WANDERSEE, J. H.; MINTZES, J. J.; NOVAK, J. D. Research on Alternative Conceptions. In: GABEL, D. L. (Ed). **Handbook of Research on Science Teaching and Learning**. New York: MacMillan, 1994. p.177-210.
- WARWICK, P.; LINFIELD, R. S.; STEPHENSON, P. A comparison of primary school pupils' ability to express procedural understanding in science through speech and writing. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 8, p. 823-838, 1999.
- WELCH, W. W.; KLOPFER, L. E.; AIKENHEAD, G. S.; ROBINSON, J. T. The role of inquiry in science education: Analysis and recommendations. **Science Education**, v. 65, n. 1, p. 33-50, 1981.

- WELLINGTON, J. Practical work in science. Time for a re-appraisal. In: WELLINGTON, J. (Ed.). **Practical work in school science. Which way now?**. London: Routledge, 1998. p. 3-15.
- WELLMAN, H. M.; GELMAN, S. A. Cognitive development: foundational theories of core domains. **Annual Review of Psychology**, v.43, p.337-375, 1992.
- WELZEL, M.; HALLER, K.; BANDIERA, M.; HAMMELEV, D.; KOUMARAS, P.; NIEDDERER, H.; PAULSEN, A.; ROBINAULT, K.; VON AUFSCHNAITER, S. Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europaischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, v.4, n.1, p.29-44, 1998.
- WHITE, P. A. Causal Processing: Origins and Development. **Psychological Bulletin**, v.104, n.1, p.36-52, 1988.
- WHITE, R. T. The link between the laboratory and learning. **International Journal of Science Education**, v.18, n.7, p.761-774, 1996.
- WHITE, R. T.; ARZI, H. J. Longitudinal Studies: Designs, Validity, Practicality, and Value. **Research in Science Education**, v. 35, p. 137-149, 2005.
- WOLLMAN, W. Controlling Variables: A Neo-Piagetian Developmental Sequence. **Science Education**, v.61, n.3, p.385-391, 1977.
- WOLLMAN, W. Controlling Variables: Assessing Levels of Understanding. **Science Education**, v.61, n.3, p.371-383, 1977.
- WOOD, P.; KARDASH, C. Critical elements in the design and analysis of studies of epistemology. In: HOFER, B. K.; PINTRICH, P. R. (Eds.). **Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. p. 231-260.
- WOOLNOUGH, J. How do students learn to apply their mathematical knowledge to interpret graphs in physics? **Research in Science Education**, v. 30, n. 3, p. 259-267, 2000.
- WU, H. K.; KRAJCIK, J. S. Inscriptional practices in two inquiry-based classrooms: A case study of seventh graders' use of data tables and graphs. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 43, n. 1, p. 63-95, 2006.

10 ANEXOS

Anexo A

Belo Horizonte, 08 de novembro de 2006.

Prezado Prof. Diretor Adilson Assis Moreira,

Através dessa, solicitamos a autorização para a realização de uma pesquisa educacional com os alunos do primeiro ano do ensino médio do COLTEC. A pesquisa será conduzida por Alessandro Damásio Trani Gomes, aluno do doutorado em Educação da Faculdade de Educação da UFMG, sob orientação do Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges. A pesquisa tem por objetivo identificar o que alunos do ensino médio aprendem durante as aulas de laboratório.

Durante o ano letivo, em algumas aulas de física, serão propostas aos alunos algumas questões abertas e fechadas sobre os diversos procedimentos e conteúdos vistos no laboratório de física. Alguns grupos de alunos também serão filmados durante a realização das atividades práticas previstas na disciplina. Pedimos a sua autorização para analisar as respostas dadas pelos alunos neste estudo. Este estudo produzirá conhecimento educacional relevante para nós, para nossos futuros alunos e para outros professores e seus alunos. É conhecimento socialmente relevante, que visa melhorar a qualidade do ensino neste ambiente de aprendizagem.

Os alunos e seus responsáveis receberão um termo de consentimento que, se assinados, autorizam a participação. Neste termo, estão esclarecidos os procedimentos da pesquisa e os direitos dos alunos como participantes da pesquisa.

Todo o material coletado (imagem, voz e exercícios em sala) será analisado com o objetivo de melhorar a qualidade do ensino neste ambiente de aprendizagem. Afirmamos o compromisso de não revelar a identidade dos alunos e de não usar esse material para fins de avaliação escolar. Os resultados dessa pesquisa poderão ser divulgados em revistas e congressos educacionais, com observância dos princípios estabelecidos pelo Comitê de Ética de Pesquisa dessa instituição. Abaixo estão os dados relativos a este projeto.

Título do projeto: O que se aprende no laboratório escolar de Física?

Pesquisador responsável: Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges (Orientador)

Instituição: Setor de Física – Colégio Técnico – UFMG

Telefone para contato: (31) 3499-4954/(31) 3499-4947

Pesquisador co-responsável: Alessandro Damásio Trani Gomes (Doutorando)

Telefone para contato: (31) 34114363

Endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627, Colégio Técnico- Setor de Física- Campus Pampulha Belo Horizonte/MG- Cep:31 270 901

Objetivo do estudo: Este estudo pretende investigar o que os estudantes do ensino médio aprendem durante as aulas de laboratório, ao longo de um ano de atividades de variados graus de abertura e dificuldade.

Anexo B

Belo Horizonte, 08 de novembro de 2006.

Prezado professor (a),

Através dessa, solicitamos a autorização para a realização de uma pesquisa educacional com seus alunos do primeiro ano do ensino médio do COLTEC. A pesquisa será conduzida por Alessandro Damásio Trani Gomes, aluno do doutorado em Educação da Faculdade de Educação da UFMG, sob orientação do Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges. A pesquisa tem por objetivo identificar o que alunos do ensino médio aprendem durante as aulas de laboratório.

Durante o ano letivo, em algumas aulas de física, serão propostas aos alunos algumas questões abertas e fechadas sobre os diversos procedimentos e conteúdos vistos no laboratório de física. Alguns grupos de alunos também serão filmados durante a realização das atividades práticas previstas na disciplina. Pedimos a sua autorização para analisar as respostas dadas por seus alunos neste estudo. Este estudo produzirá conhecimento educacional relevante para nós, para nossos futuros alunos e para outros professores e seus alunos. É conhecimento socialmente relevante, que visa melhorar a qualidade do ensino neste ambiente de aprendizagem.

Os alunos e seus responsáveis receberão um termo de consentimento que, se assinados, autorizam a participação. Neste termo, estão esclarecidos os procedimentos da pesquisa e os direitos dos alunos como participantes da pesquisa.

Todo o material coletado (imagem, voz e exercícios em sala) será analisado com o objetivo de melhorar a qualidade do ensino neste ambiente de aprendizagem. Afirmamos o compromisso de não revelar sua identidade, nem a identidade dos alunos participantes e de não usar esse material para fins de avaliação escolar. Os resultados dessa pesquisa poderão ser divulgados em revistas e congressos educacionais, com observância dos princípios estabelecidos pelo Comitê de Ética de Pesquisa dessa instituição. Abaixo estão os dados relativos a este projeto.

Título do projeto: O que se aprende no laboratório escolar de Física?

Pesquisador responsável: Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges (Orientador)

Instituição: Setor de Física – Colégio Técnico – UFMG

Telefone para contato: (31) 3499-4954/(31) 3499-4947

Pesquisador co-responsável: Alessandro Damásio Trani Gomes (Doutorando)

Telefone para contato: (31) 3411-4363

Endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627, Colégio Técnico- Setor de Física- Campus Pampulha Belo Horizonte/MG- Cep:31 270 901

Objetivo do estudo: Este estudo pretende investigar o que os estudantes do ensino médio aprendem durante as aulas de laboratório, ao longo de um ano de atividades de variados graus de abertura e dificuldade.

Assinatura do Responsável da Pesquisa
Prof Dr. Antônio Tarciso Borges
e-mail: tarciso@coltec.ufmg.br

Assinatura do Co-responsável da Pesquisa
Alessandro Damásio Trani Gomes
e-mail: alessandro@coltec.ufmg.br

Anexo C

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO

Eu li os detalhes descritos neste documento. Entendo que eu sou livre para autorizar ou não a participação de meu filho na pesquisa intitulada "O que se aprende no laboratório escolar de Física?" que está sendo conduzida pelo professor Alessandro Damásio Trani Gomes, sob a orientação do Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges e que posso interromper a participação dele a qualquer momento. Eu concordo que os dados coletados para o estudo sejam usados para as finalidades descritas no termo de consentimento livre e esclarecido.

Título do projeto: O que se aprende no laboratório escolar de Física?
 Pesquisador responsável: Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges (Orientador)
 Instituição: Setor de Física – Colégio Técnico – UFMG
 Pesquisador co-responsável: Alessandro Damásio Trani Gomes (Doutorando)
 Endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627, Colégio Técnico- Setor de Física- Campus Pampulha Belo Horizonte/MG- Cep:31 270 901

Objetivo do estudo: Este estudo pretende investigar o que os estudantes do ensino médio aprendem durante as aulas de laboratório, ao longo de um ano de atividades de variados graus de abertura e dificuldade.

Eu entendi a informação apresentada nesse documento. Eu receberei uma cópia assinada e datada deste documento de consentimento informado.

Belo Horizonte, _____ de _____ de 200 _____

Nome do Filho: _____

Nome do responsável por extenso: _____

Assinatura: _____

Assinatura do Responsável da Pesquisa
 Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges
 e-mail: antarciso@coltec.ufmg.br
 Telefone: 3499-4952

Assinatura do Co-responsável da Pesquisa
 Alessandro Damásio Trani Gomes
 e-mail: alessandro@coltec.ufmg.br
 Telefone: 34114363

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Pais ou Responsáveis)

Senhores Pais,

Seu filho(a) está sendo convidado a participar, como voluntário, de uma pesquisa educacional realizada e orientada por pesquisadores ligados ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Educação da UFMG. A pesquisa é intitulada "O que se aprende no laboratório escolar de Física?" e está sendo conduzida pelo doutorando Alessandro Damásio Trani Gomes, sob a orientação do Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges.

Durante o ano letivo, em algumas aulas de física das turmas do primeiro ano do Colégio Técnico, serão aplicados testes escritos curtos, envolvendo questões abertas e de múltipla escolha, sobre os diversos procedimentos e conteúdos tratados no laboratório de física. Eventualmente, alguns grupos de alunos serão filmados enquanto fazem as atividades previstas no laboratório de física.

Pedimos a sua autorização para analisar as respostas dadas por seu filho neste estudo com o objetivo de investigar que competências e habilidades os estudantes desenvolvem em suas atividades no laboratório escolar de física. A direção da escola e professores da turma já autorizaram a realização do estudo. Como resultado esperamos produzir conhecimento educacional relevante para a escola, para os atuais professores e pesquisadores envolvidos, para nossos futuros alunos e para outros professores e seus alunos. É conhecimento socialmente relevante, que visa melhorar a qualidade do ensino neste ambiente de aprendizagem.

Caso o uso das respostas dadas por seu filho e imagens seja autorizado, podemos lhe garantir que: (i) em nossa análise adotaremos procedimentos para preservar a identidade e resguardar a privacidade de seu filho; (ii) o professor de física de seu filho não utilizará os resultados de nossa análise para avaliar ou para analisar o desempenho de seu filho; (iii) ao divulgarmos os resultados do estudo adotaremos procedimentos que impeçam que seu filho seja identificado.

Seu filho não terá nenhum benefício direto pela participação, respondendo às questões que serão propostas como tarefas escolares usuais. Os benefícios serão difusos e indiretos, na medida em que o que aprendermos servirá para desenvolvermos o ensino de física, e que poderá beneficiar seu filho e nossos futuros alunos. Por outro lado, não identificamos qualquer risco potencial na participação de seu filho no estudo.

A recusa em participar da pesquisa não acarretará nenhuma sanção ao seu filho. Além disso, esse consentimento poderá ser retirado a qualquer momento, sem que isso traga qualquer sanção a seu filho. Em caso de dúvida sobre a adequação dos procedimentos que estamos usando você poderá procurar o Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais pelo telefone (31) 3499 4952 ou no endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627- Prédio da Unidade Administrativa II- 2º andar- Campus Pampulha Belo Horizonte- MG-Cep: 31 270 901. O Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) é formado por um grupo de pessoas com conhecimentos científicos e não científicos, e tem por missão realizar a revisão ética inicial e continuada das pesquisas, visando garantir a segurança e proteger seus direitos das pessoas envolvidas nos estudos.

Os conhecimentos resultantes deste estudo serão divulgados em revistas especializadas, em congressos e simpósios sobre pesquisas educacionais e em uma tese de doutorado. Abaixo estão os dados relativos a este projeto.

Título do projeto: O que se aprende no laboratório escolar de Física?
 Pesquisador responsável: Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges (Orientador)
 Instituição: Setor de Física – Colégio Técnico – UFMG
 Pesquisador co-responsável: Alessandro Damásio Trani Gomes (Doutorando)
 Endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627, Colégio Técnico- Campus Pampulha Belo Horizonte/MG- Cep:31 270 901

Objetivo do estudo: Este estudo pretende investigar o que os estudantes do ensino médio aprendem durante as aulas de laboratório, ao longo de um ano de atividades de variados graus de abertura e dificuldade.

Assinatura do Responsável da Pesquisa
 Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges
 e-mail: antarciso@coltec.ufmg.br
 Telefone: 3499-4952

Assinatura do Co-responsável da Pesquisa
 Alessandro Damásio Trani Gomes
 e-mail: alessandro@coltec.ufmg.br
 Telefone: 34114363



Anexo D

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO

Eu li os detalhes descritos neste documento. Entendo que eu sou livre para participar ou não na pesquisa intitulada "O que se aprende no laboratório escolar de Física?" que está sendo conduzida pelo professor Alessandro Damásio Trani Gomes, sob a orientação do Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges e que posso interromper a minha participação a qualquer momento. Eu concordo que os dados coletados para o estudo sejam usados para o propósito descrito no termo de consentimento livre e esclarecido.

Título do projeto: O que se aprende no laboratório escolar de Física?
Pesquisador responsável: Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges (Orientador)
Instituição: Setor de Física – Colégio Técnico – UFMG
Pesquisador co-responsável: Alessandro Damásio Trani Gomes (Doutorando)
Endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627, Colégio Técnico- Setor de Física- Campus Pampulha Belo Horizonte/MG- Cep:31 270 901

Objetivo do estudo: Este estudo pretende investigar o que os estudantes do ensino médio aprendem durante as aulas de laboratório, ao longo de um ano de atividades de variados graus de abertura e dificuldade.

Eu entendi a informação apresentada nesse documento. Eu receberei uma cópia assinada e datada deste documento de consentimento informado.

Belo Horizonte, _____ de _____ de 200_____

Nome por extenso: _____

Assinatura: _____

Assinatura do Responsável da Pesquisa
 Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges
 e-mail: antoniarciso@coltec.ufmg.br
 Telefone: 3499-4952

Assinatura do Co-responsável da Pesquisa
 Alessandro Damásio Trani Gomes
 e-mail: alessandro@coltec.ufmg.br
 Telefone: 34114363



Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Alunos)

Caro(a) aluno(a), você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), em uma pesquisa educacional realizada e orientada por pesquisadores ligados ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Educação da UFMG. A pesquisa é intitulada "O que se aprende no laboratório escolar de Física?" que está sendo conduzida pelo professor Alessandro Damásio Trani Gomes, sob a orientação do Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges.

Durante o ano letivo, em algumas aulas de física, serão propostas algumas questões abertas e fechadas sobre os diversos procedimentos e conteúdos vistos no laboratório de física. Alguns grupos de alunos também serão filmados durante a realização das atividades práticas previstas na disciplina. Pedimos a sua autorização para analisar as suas respostas neste estudo com o objetivo de identificar o que os estudantes do ensino médio aprendem no laboratório escolar de física. Este estudo produzirá conhecimento educacional relevante para nós, para nossos futuros alunos e para outros professores e seus alunos. É conhecimento socialmente relevante, que visa melhorar a qualidade do ensino neste ambiente de aprendizagem.

Caso você autorize o uso de suas respostas, podemos lhe garantir que: (i) nos nossos procedimentos de análise adotaremos procedimentos para preservar a identidade e resguardar a sua privacidade; (ii) o seu professor de física não utilizará os resultados de nossa análise para avaliar ou para analisar o seu desempenho; (iii) ao divulgarmos os resultados do estudo adotaremos procedimentos que impeçam que você seja identificado(a).

Você não terá nenhum benefício direto pela participação, respondendo às questões que serão propostas como tarefas escolares usuais. Os benefícios serão difusos e indiretos, na medida em que o que aprendermos servirá para desenvolvermos o ensino de física, e que poderá beneficiar você e nossos futuros alunos. Por outro lado, não identificamos qualquer risco potencial na sua participação no estudo.

A recusa em participar da pesquisa não acarretará nenhuma sanção a você. Além disso, esse consentimento poderá ser retirado a qualquer momento que você assim o desejar, sem que isso lhe traga qualquer sanção. Em caso de dúvida sobre a adequação dos procedimentos que estamos usando você pode procurar o Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais pelo telefone (31) 3499 4592 ou pelo endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627- Prédio da Unidade Administrativa II- 2º andar- Campus Pampulha Belo Horizonte- MG-Cep: 31 270 901. O Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) é formado por um grupo de pessoas com conhecimentos científicos e não científicos e tem por missão realizar a revisão ética inicial e continuada das pesquisas, visando garantir a segurança e proteger seus direitos das pessoas envolvidas nos estudos.

Os conhecimentos resultantes deste estudo serão divulgados em revistas especializadas, em congressos e simpósios sobre pesquisas educacionais e em uma tese de doutorado. Abaixo estão os dados relativos a este projeto.

Título do projeto: O que se aprende no laboratório escolar de Física?
Pesquisador responsável: Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges (Orientador)
Instituição: Setor de Física – Colégio Técnico – UFMG
Pesquisador co-responsável: Alessandro Damásio Trani Gomes (Doutorando)
Endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627, Colégio Técnico- Setor de Física- Campus Pampulha Belo Horizonte/MG- Cep:31 270 901

Objetivo do estudo: Este estudo pretende investigar o que os estudantes do ensino médio aprendem durante as aulas de laboratório, ao longo de um ano de atividades de variados graus de abertura e dificuldade.

Assinatura do Responsável da Pesquisa
 Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges
 e-mail: antoniarciso@coltec.ufmg.br
 Telefone: 3499-4952

Assinatura do Co-responsável da Pesquisa
 Alessandro Damásio Trani Gomes
 e-mail: alessandro@coltec.ufmg.br
 Telefone: 34114363

Anexo E

Questionário sobre habilidades relativas ao laboratório

Não escreva nessa folha!!!
 Após terminar o teste, devolva essa folha junto com a folha de resposta.

Questão 1

Durante a realização de uma atividade no laboratório de Física, um grupo de alunos mediu o tempo que uma esfera gasta para percorrer uma rampa. Todas as medidas foram realizadas com a mesma esfera e soltando-a de uma mesma altura. Os valores estão representados na tabela abaixo:

Tempo (s)	1,5	1,3	1,5	1,2	1,7	1,5	1,1
-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

i) De acordo com os dados na tabela, escreva qual o valor que melhor representa o tempo que a esfera gasta para percorrer a rampa. **Justifique sua resposta.**

Questão 2

As questões abaixo se referem a um experimento real ilustrado na figura ao lado. Nesse experimento, há duas esferas de massas diferentes que podem ser soltas, uma por vez, de duas alturas diferentes (H1 ou H2). Após serem soltas, as esferas descem a rampa de madeira e colide com uma esfera alvo. A esfera alvo então, percorre uma distância até parar.

i) Suponha que você deseja determinar se a altura que soltamos as esferas influencia na distância percorrida pela esfera alvo após a colisão. Qual dos procedimentos abaixo você julga mais adequado para determinar se a altura influencia na distância percorrida pela esfera alvo? **Justifique sua resposta.**

- a) Soltar da altura H1 a esfera de menor massa e de H2, a esfera de maior massa.
 - b) Soltar da altura H1 a esfera de maior massa e de H2, a esfera de menor massa.
 - c) Soltar da altura H1 a esfera de maior massa e de H2, também a esfera de maior massa.
 - d) Soltar da altura H1 a esfera de menor massa e também de H1, a esfera de maior massa.
- ii) Suponha que alguém solte a esfera de massa menor da posição H1. O que você faria em seguida, para determinar se a altura influencia na distância percorrida pela esfera alvo? **Justifique sua resposta.**

- a) soltaria de H1 a esfera de massa maior.
- b) soltaria de H1 a esfera de massa menor.
- c) soltaria de H2 a esfera de massa maior.
- d) soltaria de H2 a esfera de massa menor.

Questão 3

As questões abaixo se referem a um experimento ilustrado na figura ao lado, realizado por grupos de estudantes durante uma aula no laboratório de Física. Uma rampa de madeira é colocada na extremidade de uma mesa. Pode-se soltar uma pequena esfera de uma altura h (com relação a mesa). A esfera percorre toda a rampa e alcança o chão a uma distância d da borda da mesa. Um papel especial é colocado no chão, sobre o qual a esfera, ao cair, deixa uma pequena marca para que os estudantes possam localizar onde a esfera caiu. Os estudantes estão investigando como a distância d varia em função da altura h . Uma fita métrica é utilizada para as medições.

i) Um grupo de três alunos discute sobre as estratégias para coletarem os dados para alcançar o objetivo proposto. Eles decidem que coletarão os dados para cinco alturas h diferentes (10, 15, 20, 25, 30 cm). Porém, discordam sobre as medições da distância d para cada altura. Abaixo, estão as opiniões dos alunos. Qual a opinião que você considera mais adequada? **Justifique sua resposta.**

Estudante 1 – Soltaremos a esfera de cada uma das alturas h e mediremos a distância alcançada por ela apenas uma vez. Uma medida da distância para cada altura basta.

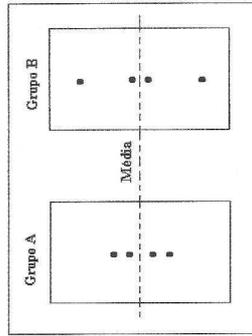
Estudante 2 – Faremos duas medições da distância alcançada pela esfera para cada altura.

Estudante 3 – Faremos pelo menos 5 medições da distância alcançada pela esfera para cada altura.

ii) Um outro grupo de alunos começa a atividade e solta a esfera de uma altura h de 20 cm. Eles medem a distância d alcançada pela esfera ao atingir o chão e obtêm o valor de 67,4 cm. Eles resolvem realizar nova coleta de dados com a mesma altura. Qual o valor que você espera que eles obtenham? **Justifique sua resposta.**

iii) Ao repetir a coleta de dados, com o mesmo valor de 20 cm para a altura h , o mesmo grupo de estudantes obteve um valor de 66,8 cm. Comente sobre o resultado obtido pelo grupo de estudantes.

iv) Dois grupos A e B realizaram, cada um, quatro coletas de dados para a altura h igual a 25 cm. Os grupos resolveram comparar as marcas deixadas nas folhas nas quais a esfera caiu. Abaixo estão representadas as folhas de cada grupo e as marcas deixadas pela esfera. Sobre esse resultado, os estudantes fizeram três comentários. Com qual comentário você concorda? **Justifique sua resposta.**



Comentário 1 – Os resultados dos dois grupos são semelhantes, pois ao calcular a média, obtém-se o mesmo valor.

Comentário 2 – Os resultados do grupo A são melhores, pois as marcas são menos espaçadas e mais próximas umas das outras.

Comentário 3 – Algum grupo de ter se enganado e cometido algum erro durante a coleta de dados. Para uma mesma altura, não se pode obter dados tão distintos.

Questão 4

Durante a realização de uma atividade experimental, um grupo de estudantes coleta dados sobre a distância percorrida por um móvel em função do tempo. Os valores estão disponíveis na tabela abaixo.

Tempo (s)	0	2	4	6	8
Distância (cm)	0	5	12	19	23

- i) No espaço apropriado, construa o gráfico que melhor represente os dados acima.
- ii) Para o tempo igual a 5 segundos, estime o valor da distância percorrida pelo móvel.
- iii) Para um tempo igual a 10 segundos, estime o valor da distância percorrida pelo móvel.

Anexo F

Questionário sobre habilidades relativas ao laboratório

Nome: _____ Turma: _____ Sub-turma no laboratório: _____

1) Durante a realização de uma atividade no laboratório de Física, dois grupos de alunos mediram o tempo que uma esfera gasta para percorrer uma rampa. Todas as medidas foram realizadas com esferas de mesma massa e soltando-as de uma mesma altura. Os valores estão representados na tabela abaixo:

Grupo A	Tempo (s)	2,1	2,9	2,5	2,9	2,1	(Média 2,5)
Grupo B	Tempo (s)	2,4	2,5	2,6	2,3	2,6	(Média 2,5)

Sobre os dados, podemos fazer os seguintes comentários:

Comentário 1 – Os dados do grupo A são melhores, pois eles obtiveram dois valores iguais a média.

Comentário 2 – Os dados do grupo B são melhores, pois as medidas estão todas entre 2,3 e 2,6 s, valores mais próximos da média.

Comentário 3 – Os dados do grupo A são tão bons quanto os dados do grupo B, pois ambos possuem a mesma média.

a) Qual dos comentários você acha mais apropriado? **Justifique sua resposta.**

2) Durante a realização de outra atividade experimental, um grupo de estudantes investiga a influência da massa do pêndulo sobre o seu período. Para tanto, realizam duas seqüências de medidas, utilizando massas de 100g e 200g e tomando alguns cuidados experimentais. Os dados obtidos estão representados na tabela abaixo.

Massa 200g	Período (s)	0,72	0,74	0,76	0,77	0,71	(Média 0,74)
Massa 100g	Período (s)	0,73	0,78	0,77	0,75	0,77	(Média 0,76)

Sobre os dados, podemos fazer os seguintes comentários:

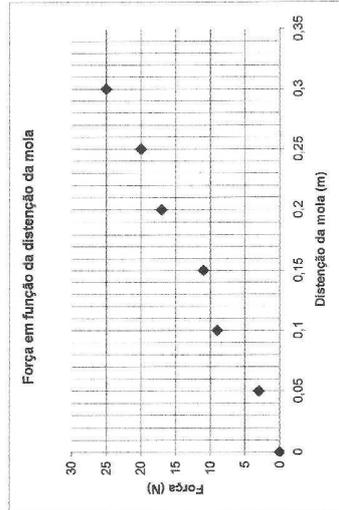
Comentário 1 – O período do pêndulo depende da massa, pois os valores obtidos para as médias são diferentes.

Comentário 2 – O período do pêndulo não depende das massas, pois as médias foram semelhantes.

a) Qual dos comentários você acha mais apropriado? **Justifique sua resposta.**

b) O enunciado da questão diz respeito a cuidados experimentais. Você seria capaz de dizer quais cuidados experimentais o grupo de alunos adotou para coletar os dados? **Explique seu raciocínio.**

3) Durante outra atividade de laboratório, um grupo de estudantes investiga a relação entre a força aplicada numa mola e a distensão sofrida por ela. Os estudantes coletaram cuidadosamente os dados e os representaram no gráfico abaixo:



a) Trace, no próprio gráfico, a curva que melhor se enquadra nos pontos acima.

b) Sabe-se que a relação matemática entre a força aplicada numa mola e a distensão provocada é dada pela equação $F = k \cdot X$, onde F representa a força aplicada, X , a distensão da mola e k , a constante elástica da mola. Para os dados acima, estime o valor da constante elástica da mola. **Justifique seus cálculos.**