Alessandro Damásio Trani Gomes

Reconhecimento e Uso de Testes Experimentais no Laboratório Escolar

Belo Horizonte

2005

Alessandro Damásio Trani Gomes

Reconhecimento e Uso de Testes Experimentais no Laboratório Escolar

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação.

Linha de Pesquisa: Espaços Educativos, Produção e Apropriação de Conhecimentos.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges

Co-orientadora: Profa. Dra. Rosária da Silva Justi

Belo Horizonte

Faculdade de Educação da UFMG

2005

FOLHA DE APROVAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO: Conhecimento e Inclusão Social
ATA DA 570ª (QÜINGENTÉSIMA SEPTUAGÉSIMA) DEFESA DE DISSERTAÇÃO NO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO: Conhecimento e Inclusão Social

Aos três dias do mês de fevereiro do ano dois mil e cinco, realizou-se, na Sala da Teleconferência da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, uma reunião para apresentação e defesa da dissertação: **"RECONHECIMENTO E USO DE TESTES EXPERIMENTAIS NO LABORATÓRIO ESCOLAR"**, do aluno **ALESSANDRO DAMÁSIO TRANI GOMES**, requisito final para obtenção do Grau de Mestre em Educação. A banca examinadora foi composta pelas seguintes professores: Antônio Tarciso Borges, Rosária da Silva Justi – Co-Orientadora, Maria Regina Dubeux Kawamura, José Guilherme Moreira. Os trabalhos iniciaram-se às15 horas com a síntese da dissertação feita pelo mestrando. Em seguida, os membros da banca fizeram uma argüição pública ao candidato. Terminadas as argüições, a banca examinadora se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para fazer a avaliação final da defesa da dissertação apresentada. Em conclusão, a banca examinadora considerou a dissertação aprovada, destacando a relevância do tema, a originalidade e rigor metodológico que fazem com que o trabalho supere as expectativas. O resultado final foi comunicado a **ALESSANDRO DAMÁSIO TRANI GOMES** e ao público, concedendo ao aluno o título de Mestre em Educação, devendo o aluno encaminhar à Secretaria do Programa a versão final em 04 (quatro) exemplares. Nada mais havendo a tratar, eu, Rosemary da Silva Madeira, lavrei a presente ata que, depois de lida e aprovada, será por mim assinada e por seus membros. Belo Horizonte, 03 de fevereiro de 2005.

Prof. Dr. Antonio Tarciso Borges - Orientador

Profª Drª Rosária da Silva Justi – Co-Orientadora

Profª Drª Maria Regina Dubeux Kawamura

Prof Dr José Guilherme Moreira

Rosemary da Silva Madeira
Secretária do Programa de Pós-graduação em Educação: Conhecimento e Inclusão Social – FaE/UFMG

Dedico esta vitória a meus pais e
também aos professores Oto,
Arnaldo e Tarciso que sempre
acreditaram e confiaram no
meu trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que me apoiaram e encorajaram durante toda a vida e sem eles seria impossível ter chegado aonde cheguei.

Aos meus orientadores Tarciso e Rosária, sempre disponíveis 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.

Aos professores e funcionários do setor de Física do Coltec. Em especial, ao professor Oto pela orientação durante a Iniciação Científica e ao Arnaldo por promover um excelente ambiente de convívio, propício para o desenvolvimento pessoal e profissional de todos.

Aos colegas de viagem para os ENPECs e EPEFs.

À galera de Hamburgo e aos amigos Fernando, Karine, Daniel, Fabiana, Sarah, Tiago, Mário, Matheus, Marcão pela amizade sincera e verdadeira.

Ao Marcus (Sr. B) e à Lorena duplamente, não apenas pela amizade, mas pela cuidadosa revisão da dissertação.

Aos alunos e amigos do Instituto Padre Machado pelo incentivo e amizade ao longo de 2004, em especial aos alunos Frederico, Breno, Luísa, Sarah, Letícia, Karina e Fernanda.

Aos alunos do Coltec que auxiliaram no desenvolvimento desse projeto, se disponibilizando a realizar as atividades do Piloto da pesquisa.

Quero manifestar minha especial gratidão aos alunos do 1º ano do ensino médio do Coltec de 2003 que participaram desta pesquisa, realizando todas as atividades sempre com a intenção de ajudar e contribuir. A eles também, dedico essa dissertação e em especial, às turmas M-16, M-17 e à sub-turma A da M-11 pelo contato direto ao longo daquele ano.

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

“De tudo ficaram três coisas:
a certeza de que estava sempre começando,
a certeza de que era preciso continuar
e a certeza de que seria interrompido antes de terminar.
Fazer da interrupção um caminho novo,
fazer da queda um passo de dança,
do medo, uma escada,
do sonho, uma ponte,
da procura, um encontro.”
(Fernando Pessoa)

RESUMO

Muito se tem argumentado sobre a utilização de atividades investigativas no ensino de Ciências. Mas utilização dessas atividades como uma estratégia de ensino/aprendizagem depende, principalmente, da habilidade dos estudantes de planejar e conduzir atividades investigativas para que possam, ao final, discutir e argumentar frente aos resultados obtidos. Dentre essas habilidades, destaca-se a capacidade de realizar testes experimentais adequados e consistentes, ou seja, a habilidade de realizar experimentos nos quais apenas a variável em foco, cujo efeito deseja-se determinar, é alterada, enquanto as demais são mantidas constantes, de forma que o experimentador possa inferir relações causais entre os fatores em jogo. Na pesquisa, tentamos caracterizar o conhecimento e as estratégias que estudantes utilizam ao realizar atividades investigativas através de simulações computacionais. Trabalhamos com a hipótese de que o conhecimento mobilizado pelo indivíduo durante toda a atividade pode ser caracterizado em termos de quatro aspectos: (a) o objetivo ele atribui à tarefa/atividade realizada; (b) os resultados parciais obtidos durante a atividade; (c) o conhecimento sobre o domínio teórico específico ao qual a atividade se refere; (d) a relação de causalidade entre as variáveis envolvidas. O principal foco para a análise realizada foi o exame do reconhecimento e, em seguida, a utilização de testes experimentais adequados e consistentes para a obtenção de dados válidos para a solução de um problema prático. Acreditamos que a metodologia desenvolvida tenha possibilitado uma visão das atividades investigativas realizadas pelos estudantes como um todo e suprido uma deficiência identificada na literatura, ou seja, a falta de uma análise mais completa da atividade experimental que contemple, senão todos, os principais aspectos da investigação científica. Participaram da pesquisa 186 alunos do 1º ano do ensino médio de uma escola pública federal. Os resultados indicam que parte desses alunos, mesmo tendo aulas de laboratório semanalmente, ainda possui muitas dificuldades de reconhecer e aplicar um controle de variáveis eficiente, de analisar os dados e tirar deles conclusões proveitosas, além de reconhecer e seguir os objetivos das atividades. 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

The use of investigative activities in science teaching has been extensively discussed. However, their use as a teaching-learning strategy depends, mainly, on the students' abilities of planning and conducting those investigative activities in order to discuss the data gathered. Among such abilities, we may highlight the one of realising adequate and consistent empirical tests, i.e. the ability to conduct experiments in which only the focused variable, whose effect should be determined, is changed, whilst all the other variables are kept constant so that the experimenter can infer causal relationships between all the involved aspects. In this research, we tried to characterise both the knowledge and the strategies that students use to conduct investigative activities involving computational simulations. Our initial hypothesis was that the knowledge each individual use during the whole activity can be characterized according to four aspects: (a) the aim s/he attributes to the task realised; (b) the partial results obtained during the activity; (c) the domain-specific knowledge related to the activity; (d) the causality relationship between the variables. The main focus of our analysis was the investigation of the recognition of adequate and consistent empirical tests, followed by their use to obtain valid data to solve a practical problem. We believe the methodology we developed both had made possible to view the investigative activities conducted by the students as a whole and had bridged a gap previously identified in the literature, i.e. the lack of a more comprehensive analysis of empirical activities that include, if not all, the main aspects of scientific reasoning. 186 students from the first year of the medium level of a federal public school participated in the study. The results show that part of these students, even attending lab classes weekly, still have many difficulties in recognising and using an efficient variable control, in using data to generate useful conclusions and in both recognising and following the aims of the activities. From such data, as well as other results, we discuss educational implications from this research to science teaching. We also point out some new perspectives for research in this area.

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Distribuição dos livretos entre os alunos. 92

Tabela 5.1 – Freqüência de ocorrência das justificativas 103

Tabela 5.2 – Distribuição das justificativas de acordo com o tipo do problema. 106

Tabela 5.3 – Distribuição das justificativas de acordo com o Livreto 108

Tabela 5.4 – Distribuição das justificativas de acordo com o Livreto e o problema 108

Tabela 5.5 – Distribuição das justificativas de acordo com os experimentos 109

Tabela 5.6 – Informações sobre a execução da atividade investigativa. 117

Tabela 5.7 – Média de experimentos realizados. 118

Tabela 5.8 – Número e porcentagem de experimentos adequados e consistentes 120

Tabela 5.9 – Distribuição da porcentagem de duplas de acordo com a qualidade da investigação 122

Tabela 5.10 – Numero e porcentagem total de resposta por categoria. 132

Tabela 6.1 – Média de justificativas C1 de acordo com as sub-turmas de rendimento escolar 137

Tabela 6.2 – Foco de atenção dos estudantes durante os experimentos adequados e consistentes 139

Tabela 6.3 – Relação entre o reconhecimento e utilização de testes adequados e consistentes. 141

Tabela 6.4 – Desempenho dos grupos segundo a identificação dos objetivos da atividade 144

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Níveis de classificação das atividades investigativas segundo Tamir (1991) 26

Quadro 2.2 – Classificação das atividades investigativas segundo Borges (2002) 27

Quadro 3.1 – Caracterização da atividade científica segundo duas dimensões 43

Quadro 3.2 – Características dos modelos engenheiro e científico. 74

Quadro 4.1 – Relação entre os instrumentos de pesquisa e o tipo de conhecimento avaliado 90

Quadro 4.2 – Características dos problemas abordados no teste. 91

Quadro 4.3 – Características do questionário sobre Equilíbrio térmico. 94

Quadro 4.4 – Características do questionário sobre Plano inclinado. 94

Quadro 4.5 – Características das atividades investigativas 97

Quadro 5.1 – Sistema de categorias de justificação 101

Quadro 5.2 – Categorias utilizadas para classificação das investigações realizadas. 121

Quadro 5.3 – Categorias de resposta à pergunta sobre o objetivo da atividade realizada. 130

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Tela principal da simulação para o problema do Plano inclinado 96

Figura 4.2 – Tela principal da simulação para o problema do Equilíbrio térmico..... 96

Figura 5.1 – Histograma da distribuição de freqüência da Categoria C1 105

Figura 5.2 – Dados relativos ao questionário sobre Equilíbrio térmico..... 112

Figura 5.3 – Dados relativos ao questionário sobre Plano inclinado..... 112

Figura 5.4 – Distribuição das categorias de justificação para o domínio do Plano Inclinado 115

Figura 5.5 – Distribuição das categorias de justificação para o domínio do Equilíbrio térmico 116

Figura 5.6 – Gráfico da distribuição da freqüência de justificativas de acordo com as categorias para a investigação do Plano inclinado 124

Figura 5.7 – Gráfico da distribuição da freqüência de respostas de acordo com as categorias para a investigação do Equilíbrio térmico..... 124

Figura 5.8 – Gráfico da comparação entre a porcentagem de acerto antes e depois da investigação. 127

Figura 5.9 – Gráfico da comparação entre a porcentagem de acerto antes e depois da investigação. 128

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15

1.1 Contextualização do objeto de estudo no campo da educação em Ciências 18

1.2 Estrutura da apresentação da pesquisa 21

2 ATIVIDADES PRÁTICAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS 23

2.1 Considerações Iniciais 23

2.2 Laboratório escolar e atividades investigativas 24

2.3 A utilização de simulações computacionais no ensino de Ciências 32

3 HABILIDADES RELATIVAS AO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO 38

3.1 Considerações Iniciais 38

3.2 O modelo SDDS 39

3.3 Estudos que focam aspectos unicelulares referentes ao processo de investigação 43

3.3.1 Célula A: O efeito de conhecimentos específicos sobre a formulação de hipóteses 44

3.3.2 Célula B: O efeito de conhecimentos específicos sobre o teste de hipóteses 47

3.3.3 Célula C: O efeito de conhecimentos específicos sobre a avaliação de evidências 48

3.3.4 Célula D: O efeito de conhecimentos gerais sobre a formulação de hipóteses 51

3.3.5 Célula E: O efeito de conhecimentos gerais sobre o teste de hipóteses 53

3.3.6 Célula F: O efeito de conhecimentos gerais sobre a avaliação de evidências 54

3.4 Pesquisas integradoras: estudos que focam aspectos multicelulares referentes ao processo de investigação 55

3.4.1 Células A e C: A interação entre o conhecimento específico, formulação de hipóteses e avaliação de evidências. 58

3.4.2 Células D, E e F: A interação entre o conhecimento geral e os processos de formulação de hipóteses, experimentação e avaliação das evidências. 59

3.4.3 Células A, C, D e F: O estudo da habilidade de coordenar hipóteses iniciais e evidências 61

3.5 Trabalhos sobre o processo de descoberta científica: estudos que focam a interação entre todos os conhecimentos e habilidades referentes ao processo de investigação 64

3.6 Estratégias e implementação de testes experimentais adequados e consistentes 69

3.6.1 O objetivo da atividade. 73

3.6.2 Os resultados finais ou parciais dos experimentos 75

3.6.3 O modelo de causalidade entre as variáveis envolvidas 77

3.6.4 O conhecimento do domínio teórico da atividade 78

3.6.5 Aquisição e transferência das estratégias de implementação de testes adequados e consistentes 80

4 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS 86

4.1 Questões da Pesquisa 87

4.2 Metodologia da pesquisa 87

4.2.1 Sujeitos da pesquisa 89

4.2.2 Instrumentos de pesquisa 90

4.2.2.1 Teste sobre o reconhecimento de testes adequados e consistentes 90

4.2.2.2 Questionário sobre conhecimento prévio do domínio teórico ... 93
4.2.2.3 Questionário sobre a causalidade de determinadas variáveis ... 94
4.2.2.4 Execução da Investigação ... 95
4.2.2.5 Questionário final sobre a causalidade das variáveis ... 98
4.2.2.6 Pergunta sobre os objetivos da atividade realizada ... 98
4.2.3 Procedimentos ... 99

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS I ... 100
5.1 Considerações iniciais ... 100
5.2 Reconhecimento de testes adequados e consistentes ... 100
5.2.1 Distribuição das justificativas ... 103
5.2.2 Domínio teórico do problema ... 106
5.2.3 Ordem de apresentação dos problemas ... 107
5.2.4 Dificuldade de cada experimento e coerência ... 109
5.3 Questionário sobre conhecimento prévio do domínio teórico ... 111
5.4 Questionário sobre a causalidade de determinadas variáveis ... 113
5.5 Execução da atividade ... 117
5.5.1 Número de experimentos realizados ... 118
5.5.2 Experimentos adequados e consistentes ... 119
5.6 Questionário final sobre a causalidade das variáveis ... 122
5.7 O objetivo da atividade ... 129
5.8 Questões norteadoras ... 133

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS II ... 135
6.1 Considerações iniciais ... 135
6.2 Análise das questões levantadas ... 135

7 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES ... 145
7.1 Principais resultados e conclusões ... 146
7.2 Implicações educacionais ... 151
7.3 Novas questões de pesquisa ... 156

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ... 161

9 ANEXOS ... 170
9.1 Anexo A: Teste sobre o reconhecimento de testes experimentais adequados e consistentes ... 170
9.1.1 Problema do Plano inclinado ... 170
9.1.2 Problema do Equilíbrio térmico ... 172
9.2 Anexo B: Questionários sobre o conhecimento prévio do domínio teórico ... 174
9.2.1 Questionário sobre movimento acelerado e plano inclinado ... 174
9.2.2 Questionário sobre temperatura e equilíbrio térmico ... 176
9.3 Anexo C: Questionários sobre a causalidade de determinadas variáveis ... 178
9.3.1 Problema do Plano inclinado ... 178

9.3.2 Problema do Equilíbrio térmico 179
9.4 Anexo D: Exemplo de arquivo do histórico das investigações 180
9.5 Anexo E: Questionário final sobre a causalidade das variáveis 182
9.5.1 Problema do Plano inclinado 182
9.5.2 Problema do Equilíbrio térmico 183

1 INTRODUÇÃO

Os últimos anos se caracterizaram por um interesse cada vez mais presente em diversos países pela retomada da discussão das metas curriculares, 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.

A pesquisa em educação em Ciências tem destacado a meta curricular de promoção da compreensão dos estudantes sobre a natureza da Ciência e da investigação científica, defendendo 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; Millar, 1996; Akerson, Abd-el-Khalick e Lederman; 2000; Paula, 2004).

As novas diretrizes curriculares contrapõem-se à ênfase tradicional do ensino de Ciências em abordar exclusivamente conteúdos científicos, ou seja, produtos da atividade científica. Essa ênfase contribui para tornar o ensino de Ciências dogmático e pouco compromissado com a promoção do desenvolvimento intelectual e moral dos aprendizes como argumentam Meyer e Woodruff (1997). Em vez de proporcionar aos estudantes oportunidades de vivenciar processos de construção de conhecimentos e de iniciação ao fazer científico, o ensino tal como acontece na maioria de nossas escolas privilegia a aprendizagem superficial de leis, conceitos, definições e fórmulas, em suma, a aprendizagem dos 'fatos da Ciência'. Esse ensino pouco contribui para promover o reconhecimento e a apreciação da importância da Ciência como parte de nossa cultura, bem como compreender e valorizar as idéias e raciocínios poderosos desenvolvidos ao longo da história da humanidade para compreender e explicar o mundo, reduzindo a Ciência a uma simples coleção de 'fatos', frutos de mentes geniais, mas frios, definitivos e imutáveis.

Essa dissertação desenvolve-se dentro de um programa de pesquisa[1] que busca desenvolver um currículo de Ciências relevante e significativo baseado em modelos e em modelagem, no qual investigações são consideradas atividades centrais. Defendemos também, a idéia de que

[1] Projeto Inovar: http://www.coltec.ufmg.br/~inovar

> "um ensino da Ciência que não ensine a pensar, a refletir, a criticar, que substitua a busca de explicações convincentes pela fé na palavra do mestre, pode ser tudo menos um verdadeiro ensino da Ciência." (Medeiros e Bezerra Filho, 2000, p. 108).

Desde 1998, nos envolvemos com estas questões, através deste projeto de pesquisa que tem como objetivo central o desenvolvimento de atividades e unidades curriculares de Ciências, e de Física em particular, que contribuam para tornar mais científicos o pensar e o pensamento de nossos estudantes. Entendemos esse desafio como o problema de conceber propostas curriculares, de desenvolver meios, recursos e materiais para sua implementação e de disseminar propostas e instrumentos desenvolvidos nos ambientes escolares reais. Isto exige intervenção nesses ambientes orientada pelo objetivo de revigorar o ensino e tornar a aprendizagem de Ciências acessível a parcelas antes excluídas do sistema educacional.

Atualmente, educadores (AAAS, 1990; Millar, 1991) defendem que a educação em Ciências deve envolver não somente o desenvolvimento de conhecimentos amplos e abstratos, como conhecimentos práticos e contextualizados para a formação de uma cultura científica efetiva mas, principalmente, o desenvolvimento de uma capacidade de interpretação e análise de observações e resultados experimentais. 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 torna-se, então, um componente importante, para facilitar a criação de tal ambiente. Porém, a forma como as atividades laboratoriais atuais estão estruturadas contribuem muito pouco para isso. Diversos trabalhos (White, 1996; Borges, Borges, Silva e Gomes, 2001; Borges, 2002) discutem os problemas e limitações das atividades práticas tradicionais, que projetam uma visão distorcida da natureza do fazer científico, colaborando pouco para a aprendizagem de conceitos e para despertar vocações científicas, carecendo de um valor educativo real. Isso acontece porque, na maioria das vezes, não se promove o entendimento de como planejar e executar as atividades, de como interpretar e avaliar os resultados obtidos e de como julgar a qualidade das afirmações derivadas desses resultados.

A partir destas preocupações educacionais e curriculares mais amplas, pesquisadores e educadores vêm pensando maneiras de dar novo sentido e significado às práticas de

laboratório, recomendando uma reorientação dos trabalhos práticos e priorizando a substituição das atividades práticas tradicionais por atividades mais abertas, de natureza investigativa. O planejamento e execução de atividades investigativas reais podem contribuir para que o estudante estabeleça conexões entre a natureza da Ciência e seus conceitos, e os procedimentos e atitudes da atividade científica, visando possibilitar não apenas a compreensão conceitual, mas também, o entendimento dos estudantes sobre os aspectos particulares do fazer científico. Como afirma Marcelo Giordan,

> "tomar a experimentação como parte de um processo pleno de investigação é uma necessidade, reconhecida entre aqueles que pensam e fazem o ensino de Ciências, pois a formação do pensamento e das atitudes do sujeito deve-se dar preferencialmente nos entremeios de atividades investigativas." (Giordian, 1999, p. 3).

Para a implementação desse tipo de atividade pode-se utilizar vários recursos, dentre eles, as novas tecnologias da informação disponíveis, como sistemas de aquisição automática de dados e simulações computacionais (Gomes, Silva, Borges, Borges, 1999b). Hoje, grande parte das pesquisas no ensino de Ciências na área da Tecnologia da Educação focaliza, em termos gerais, as condições fundamentais necessárias para que a tecnologia melhore a educação, já que ela é apenas uma ferramenta entre muitas e que tem pouca influência, a menos que seja integrada em uma estrutura curricular e instrucional significativa. Assim, esse trabalho é, também, um esforço de explorar o uso de um, dentre os vários tipos de novas tecnologias no ensino de Física, para a construção de ambientes que facilitem a aprendizagem de suas principais idéias.

Acreditamos que a implementação de atividades investigativas, através da utilização de simulações computacionais, pode contribuir para a superação de muitas dificuldades relacionadas com o ensino e aplicação dos conceitos básicos da Física, propiciando a criação de um ambiente que possibilite aos estudantes o refinamento de seus conhecimentos através da elaboração, utilização e revisão de seus modelos. A capacidade que as simulações possuem de apresentar fenômenos e permitir a interação com a dinâmica do sistema modelado cria uma oportunidade única para ajudar os estudantes a explorar, contextualizar e compreender o fenômeno em questão.

Mas, a utilização das atividades investigativas no ensino de Ciências como uma estratégia de ensino/aprendizagem, sendo ela implementada com auxílio do computador ou não, depende, principalmente, da habilidade dos estudantes de planejar e conduzir tais atividades para que possam, ao final, discutir e argumentar frente aos resultados obtidos. Para

que isso aconteça de forma satisfatória, são necessárias certas habilidades relacionadas ao processo de investigação científica. Dentre essas habilidades, destaca-se a capacidade de realizar testes experimentais adequados e consistentes, ou seja, a habilidade de realizar experimentos nos quais apenas a variável em foco, cujo efeito deseja-se determinar, é alterada, enquanto as demais são mantidas constantes, de forma que o experimentador possa inferir relações causais entre os fatores em jogo.

O objetivo desse estudo é, então, o de examinar em que medida os alunos do ensino médio reconhecem e utilizam testes experimentais adequados e consistentes durante a realização de uma atividade investigativa autêntica, através de uma simulação computacional.

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

Atividades práticas, desenvolvidas geralmente em laboratórios são, desde a década de 60, um instrumento de ensino padrão nos currículos em diversos países. Porém, apesar de sua ampla utilização, o seu papel no ensino de Ciências ainda não é claro. Pesquisadores (Hodson, 1988; Tamir, 1991) 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. Contaminados talvez, por um ensino baseado apenas na transmissão dos conhecimentos, os trabalhos práticos assumiram um papel de simples ilustração e se limitam, na maioria das vezes, a manipulações de equipamentos, seguindo receitas descritas em detalhes nos manuais e folhas de atividade.

> "Ao nosso ver, esta perspectiva exclusiva da racionalidade técnica, impede uma reflexão mais profunda sobre as relações existentes entre o saber da Ciência e da Tecnologia e a dimensão social, econômica, política e cultural que estas relações pressupõem, contribuindo para que os estudantes tenham uma visão empobrecida da atividade científica." (Tomazello e Gurgel, 2000, p. 11).

Portanto, o emprego continuado de atividades que se limitam a demonstrar algum fenômeno ou permitem apenas que os estudantes sigam rigorosamente um roteiro para testar uma lei científica, acabam por transmitir ao aluno uma visão simplista do processo científico: a empirista-indutivista, na qual o conhecimento origina-se da observação e experimentação. Em contrapartida, os conhecimentos teóricos e a imaginação do cientista não são importantes

e, portanto, devem ser desconsiderados. Somente através da observação cuidadosa, repetida e imparcial do mundo natural pode-se obter informações seguras e precisas sobre o seu comportamento que formarão a base a partir da qual as leis e teorias devem ser derivadas pelo método da indução (Chalmers,1993).

Essa visão empirista sugere que basta dar oportunidades para os estudantes explorarem fenômenos e eles serão capazes de induzir as generalizações e princípios por eles mesmos. Ela é reforçada pelos livros didáticos que disseminam a importância do 'método científico' e caracterizam a Ciência como um corpo de conhecimentos estável, objetivo, imutável e absolutamente verdadeiro. Nas palavras de Barberá e Valdés,

> "esta visão fortemente indutivista do método científico, que o vê como uma sucessão de passos discretos, têm recebido numerosas e contundentes críticas, e na atualidade está desacreditada em numerosos setores, mas está muito distante de ser erradicada do mundo do ensino de Ciências." (Barberá e Valdés, 1996 p. 368).

Portanto, uma das preocupações legítimas das reformas curriculares hoje é, justamente, o planejamento de um currículo que trate da natureza da Ciência de maneira explícita e que represente a atividade científica de forma mais válida do ponto de vista filosófico e epistemológico, para que a Ciência seja compreendida como uma atividade social, integral e dinâmica, e não apenas como 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 e 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 a de 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 até nos primeiros anos do ensino fundamental, os estudantes devem aprender o que constitui uma evidência e avaliar dados e informações disponíveis. 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).

Atividades investigativas, segundo Borges (2002), são problemas práticos abertos nos quais os estudantes não possuem, de antemão, um roteiro, nem uma resposta conhecida por eles e que devam alcançar, sendo, portanto, desafiados a solucioná-los com seus próprios recursos. Para Kuhn, Black, Keselman e Kaplan (2000), investigações são atividades educacionais nos 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.

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

Muito se tem argumentado sobre a utilização e a implementação de atividades investigativas no ensino de Ciências. Entretanto, são raras as pesquisas sobre a capacidade dos estudantes em reconhecer e definir o problema a ser explorado, planejar a investigação, elaborar os objetivos e procedimentos, identificar as variáveis relevantes, levantar os materiais necessários, realizar a experiência e analisar os resultados obtidos, etc. E, mais raras ainda, são aquelas que têm situações reais de sala de aula ou laboratório como contextos. Devido a essa escassez de pesquisa na área, ainda sabe-se pouco sobre o entendimento dos alunos acerca de questões que são cruciais para a obtenção de uma solução satisfatória de um problema prático e que podem comprometer seriamente a validade e qualidade de suas afirmações sobre tal problema.

Para Leach (1999), a pesquisa sobre as habilidades e desempenho dos estudantes durante as atividades práticas é importante para a identificação de novos objetivos para os currículos de Ciências em áreas que, previamente, eram consideradas como não problemáticas. Acreditamos que o desenvolvimento de currículos precisa ser fundamentado nas pesquisas em educação em Ciências e simultaneamente influenciar seus rumos. Sobre isso, Jenkins afirma:

> “permanece como desafio para os pesquisadores em educação em Ciências aproximar-se com êxito do mundo dos praticantes e, em meu juízo, se fez pouco progresso geral no trabalho

> conjunto com os praticantes para desenvolver as ferramentas conceituais necessárias para melhorar a qualidade das aprendizagens dos estudantes.” (Jenkins, 2001, p.21).

Essa pesquisa faz-se necessária, na medida em que buscamos encontrar meios de ajudar os estudantes a desenvolver um entendimento sólido sobre os principais aspectos que envolvem a atividade científica, principalmente o reconhecimento e a implementação de testes experimentais adequados e consistentes. A implementação desses testes é um passo importante no desenvolvimento do indivíduo, uma vez que o seu domínio propicia um forte instrumento para a definição e execução dos procedimentos experimentais.

1.2 Estrutura da apresentação da pesquisa

A seqüência dos capítulos para a estruturação e organização da dissertação obedece à ordem a seguir. A introdução é esse presente capítulo, no qual apresentamos o problema que orientou toda a elaboração desse trabalho, bem como a sua relevância para o ensino de Ciências.

A revisão bibliográfica, para maior organização, foi divida em dois capítulos. No capítulo dois, tratamos do laboratório escolar, seus pressupostos epistemológicos, as principais críticas à forma como as atividades práticas são elaboradas e conduzidas atualmente e apresentamos as atividades estruturadas como investigações como alternativa para melhorar essa situação. Além disso, apresentamos as simulações computacionais como uma ferramenta que tem o potencial de possibilitar a construção de um ambiente no qual os estudantes tenham uma participação ativa na construção de seu conhecimento, destacando suas vantagens e características necessárias.

O capítulo três traz a revisão das principais pesquisas e resultados empíricos sobre as habilidades relativas ao processo de investigação, entre elas, a capacidade de realizar testes experimentais adequados e consistentes.

No capítulo quatro, 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. Veremos que as questões que buscamos responder nesse trabalho foram frutos de uma lacuna metodológica identificada na literatura, ou seja, a escassez de pesquisas que tratem as atividades investigativas como um todo, não apenas em aspectos isolados.

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.

Os capítulos cinco e seis são reservados para a apresentação e análise dos dados. A separação em dois capítulos foi necessária pois, no capítulo seis, analisamos detalhadamente, os resultados de cada instrumento de pesquisa de forma isolada. Já no capítulo sete, tentamos integrar e enriquecer a análise, buscando conectar os resultados obtidos de uma forma unificadora, analisando a atividade realizada num âmbito geral.

O capítulo sete encerra a dissertação apresentando uma síntese dos resultados obtidos, destacando as contribuições teóricas, metodológicas, as implicações educacionais para o ensino de Ciências, bem como novas possibilidades de pesquisa na área.

2 ATIVIDADES PRÁTICAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Na verdade, é quase um milagre que os métodos modernos de instrução não tenham ainda exterminado completamente a sagrada curiosidade da investigação, pois esta delicada planta, além de estímulo, necessita principalmente da liberdade, sem esta, ela é inevitavelmente levada à destruição e à ruína.

Albert Einstein

2.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo, será discutido o papel das atividades práticas, sobretudo aquelas desenvolvidas no ambiente do laboratório escolar. Descreveremos um breve histórico sobre a estruturação dessas atividades que nos permitirá identificar e compreender as principais limitações desse ambiente de ensino.

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, de natureza investigativa, que forneçam aos estudantes oportunidades de desenvolverem suas capacidades de resolução de problemas, com diferentes níveis de orientação.

Na seção 2.3, discutiremos a importância e as vantagens das simulações computacionais como um recurso potencialmente atraente, cujas vantagens têm sido comentadas e discutidas em várias pesquisas na área educacional, como umas das formas para implementação das atividades investigativas.

2.2 Laboratório escolar e atividades investigativas

Até a década de 60, as atividades práticas[2] no ensino de Ciências eram utilizadas como atividades com objetivos limitados, puramente ilustrativos e demonstrativos. Porém, 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 as atividades práticas passaram a estar intimamente relacionadas com as aulas de Ciências. Como conseqüência disso, a pesquisa sobre o papel e os objetivos do laboratório escolar na educação secundária identificou um conjunto de crenças e expectativas entre professores e planejadores de currículos sobre o papel fundamental das atividades experimentais e o que justifica a sua extensa utilização e valorização dentro do ensino de Ciências.

Porém, não há ainda uma clareza sobre como as atividades práticas preencheriam tal papel de destaque e, assim, uma importante relação se perde: o propósito de cada atividade e o que tem sido realmente feito dentro do laboratório é pouco compreendido, o que contribui para torná-lo extremamente improdutivo.

Duas grandes revisões bibliográficas realizadas até o início da década de 90 (Hofstein e Lunetta, 1982; Lazarowitz e Tamir, 1994) questionam 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. No entanto, apontam que tanto professores quanto estudantes gostam de realizá-las.

Parte dessa ineficiência pode ser explicada, segundo Woolnough (1991), pela confusão e má compreensão dos diversos objetivos atribuídos às atividades práticas e pela conseqüente perda da relação entre o que tem sido realmente feito e o propósito original de cada atividade. Dentre os objetivos atribuídos às atividades práticas levantadas na literatura (Hodson, 1994; Lazarowitz e Tamir, 1994; Borges, 2002), destacamos os mais recorrentes:

- As atividades devem fornecer experiências concretas e meios de ajudar os estudantes a buscarem conexões entre a teoria e os fenômenos;

---

[2] Concordamos com a visão de Hodson (1988), segundo a qual atividades práticas não envolvem necessariamente atividades de laboratório tendo, portanto, um âmbito bem maior. Porém, para efeito deste trabalho, trataremos esses dois termos como sinônimos, pois nosso trabalho se limita às atividades práticas realizadas em laboratório.

- As atividades devem ter um caráter motivacional, ajudando no desenvolvimento pessoal dos estudantes;
- As atividades devem fornecer a oportunidade para a construção de valores, especialmente aqueles relativos à natureza da Ciência, ao conhecimento científico e ao método científico;
- As atividades devem desenvolver habilidades específicas, relativas à experimentação;
- As atividades devem contribuir para facilitar a aquisição de conhecimentos científicos.

Para que as práticas de laboratório sejam implementadas e esses objetivos alcançados, podemos utilizar uma diversidade enorme de atividades, que podem ser preparadas e definidas de diferentes maneiras, de acordo com os interesses do professor e as necessidades dos estudantes. Duggan e Gott (1995) classificam as atividades práticas em cinco tipos distintos, de acordo com seus objetivos principais:

- *Atividades para o desenvolvimento de habilidades*: visam o desenvolvimento de habilidades específicas e básicas para o uso do laboratório e a realização de uma atividade experimental. Tais habilidades podem ser o manuseio de um instrumento, a confecção de relatórios, a construção de gráficos e tabelas, etc.
- *Atividades de ilustração*: têm por objetivo principal ilustrar fenômenos, exemplificar, provar ou demonstrar alguma lei científica já conhecida dos estudantes. Esse tipo de atividade facilita a construção de relações entre a teoria e a prática.
- *Atividades de observação*: fornecem a oportunidade aos estudantes de observarem determinado fenômeno. A partir de seus conhecimentos, os estudantes tentam descrever e interpretar os resultados obtidos.
- *Atividade de pesquisa ou descoberta*: são atividades estruturadas de tal forma que permitem aos estudantes, através de instruções detalhadas, descobrir uma lei ou um conceito específico por si próprios.
- *Atividades investigativas*: propiciam aos estudantes a oportunidade de utilizar seus conhecimentos e habilidades na solução de problemas cuja resposta não é óbvia para eles.

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, como das relações de ensino e

aprendizagens e, como conseqüência, das possibilidades do laboratório enquanto instrumento e ambiente de aquisição do conhecimento.

Herron[3] (Tamir, 1991) classifica as atividades práticas, em quatro níveis distintos de investigação (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 e, finalmente, no Nível 3, o aluno é responsável, também, pela identificação de um problema interessante para a investigação. Em atividades desses últimos níveis, o aluno planeja a atividade, formula hipóteses, define os procedimentos, coleta e analisa os dados, discute os resultados e obtém uma conclusão.

Podemos também, segundo Borges (2002), 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 tomados 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, do outro. Na linguagem de resolução de problemas tem-se, em um extremo, um problema muito bem definido. Deslocando-se ao longo do contínuo, passamos para problemas cada vez menos definidos e estruturados, até chegar ao extremo dos problemas completamente abertos. Entre esses dois

[3] Herron, M. D. The nature of scientific inquiry. **School Review**, vol. 79, p.171-212, 1971.

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 investigativas 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	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 em atividades desse tipo é insuficiente para cobrir todos os objetivos acima levantados para as atividades práticas, embora elas possam ter maior peso nas etapas iniciais do estudo das Ciências. Como afirma White (1996), há lugar para atividades de ilustração e observação, mas é necessário dosá-las. Se muitas atividades são dos níveis 0 e 1,

> "os estudantes vão aprender uma anti-Ciência: há sempre uma resposta correta, instituída por autoridade. A Ciência será vista como um rígido e inquestionável corpo de fatos ao invés de ser uma interpretação dinâmica dos fenômenos." (White, 1996, p.769).

Currículos em que predominam atividades de ilustração ou verificação pouco contribuem para promover uma melhor compreensão conceitual das principais idéias envolvidas nas atividades e, também, para aproximar a atividade dos estudantes às atividades de fazer Ciência. O que se vê hoje, é que os laboratórios se transformaram 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 o que é importante, o aprendizado do estudante. Assim, os roteiros usados são tradicionalmente verdadeiros "livros de receita", que prescrevem que passos e em que ordem o estudante deve seguir para realizar a atividade proposta. Isso reprime sua iniciativa, curiosidade e imaginação, inibindo o desenvolvimento do seu pensamento.

> "... Uma prática experimental, no ensino de Ciências, sem uma preocupação problematizadora e/ou crítica, baseada apenas em roteiros sem articulação entre teoria e prática, acaba por estabelecer uma associação reducionista entre trabalho científico e práticas experimentais, fragilizando o ensino com pesquisas nas escolas e contribuindo para um vazio de significado em suas proposições." (Tomazello e Gurgel, 2000, p. 15).

Esse tipo de laboratório acaba provocando 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 que estimule ao 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, o que resulta em eles não desenvolverem seu pensamento.

Como conseqüência, os estudantes freqüentemente desenvolvem imagens de que a Ciência é um conjunto de conhecimentos provados e verdadeiros, rígido e imutável, descobertos por pessoas geniais. Além disso, desenvolvem um entendimento de que aprender Ciências significa aprender a aplicar as fórmulas e raciocínios propostos em aula ou em livros para chegar às respostas corretas.

Estudos recentes (Barberá e Valdés, 1996; White, 1996; Borges, 1997, 2002) evidenciam algumas falhas das atividades práticas utilizadas no ensino de Ciências. Segundo esses estudos, com raras exceções:

- As atividades servem apenas para verificar alguma lei científica ou algo já conhecido pelos estudantes;
- Muito tempo é gasto com atividades básicas, com experimentos muito simples;
- Há ausências de aspectos fundamentais, como a explicitação das hipóteses formuladas;
- Não se discute com os estudantes a natureza das atividades práticas. Isso freqüentemente reforça a concepção de que atividades práticas não podem "falhar";
- Gasta-se muito tempo na coleta de dados e em cálculos secundários;
- Os roteiros chamados "livros de receita" reprimem a iniciativa e a curiosidade do aluno, inibindo seu pensamento próprio.

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, bem como o porquê dos resultados obtidos (Roychoudhury e Roth, 1996). Ao longo do tempo, as atividades em laboratório acabam se transformando em mais uma rotina, por não apresentarem desafios aos estudantes.

Para mudar esse quadro de descrédito em relação aos laboratórios de Ciências, deve-se procurar envolver os estudantes com atividades que desenvolvam suas capacidades de resolução de problemas, com diferentes níveis de orientação. As atividades propostas devem ser diversificadas e balanceadas, estimulando o desenvolvimento dos alunos. Dentre os diversos tipos de atividades, acreditamos que investigações, propostas pelos próprios alunos ou pelo professor, têm o potencial de engajar e motivar os estudantes, permitindo a superação das deficiências das atividades práticas tradicionais acima levantadas. 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 (Tamir, 1991; White, 1996; Varela e Martinez, 1997; Borges, 1997, 2002; Borges, Borges, Silva e Gomes, 2001) sugerem alternativas semelhantes, propondo estruturar as atividades de laboratório como investigações ou problemas práticos com variados níveis de abertura. 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 condução da atividade.

White (1996) vai além, argumentando que

> "investigações abertas seguidas de discussão em classe sobre os métodos utilizados e a validade dos resultados obtidos podem ser melhores para promover a compreensão de como a Ciência é feita do que as atividades comuns pré-determinadas dos laboratórios tradicionais". (White 1996, p.764).

Além disso, a realização de uma investigação requer que o estudante articule suas habilidades cognitivas e conhecimentos práticos e conceituais, desenvolvendo-os e integrando-os simultaneamente. Sendo assim, os conhecimentos conceituais e procedimentais não podem ser tratados de forma independente. Dessa forma, para Duarte (1999),

> "é dentro desta perspectiva que se defende que os estudantes devem se envolver intelectualmente com experiências laboratoriais significativas, que incorporem a ´manipulação´ de idéias em vez de simples materiais e procedimentos; ou, por outras palavras,

> um trabalho laboratorial concebido como uma atividade investigativa e colaborativa, onde a aprendizagem de processos e produtos da Ciência aparecem como interdependentes e interligados por forma a poderem ser atingidos objetivos como o de facilitar o desenvolvimento conceitual dos alunos" (Duarte, 1999, p.2).

O reconhecimento da importância e do potencial que 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 passaram, de ilustrativas e demonstrativas, para atividades voltadas para pesquisa ou descoberta, e forneceram aos estudantes a oportunidade de desenvolver as habilidades relativas ao processo de investigação (Klainin, 1988).

Porém, os pressupostos filosóficos e epistemológicos sobre os quais se fundamentavam tais projetos[4] foram extensamente criticados (Millar e Driver, 1987; Hodson, 1988). Os defensores desses projetos, influenciados por uma visão positivista do conhecimento científico, acreditavam que bastaria fornecer a oportunidade para os estudantes explorarem fenômenos, seguindo passos rígidos de um suposto 'método científico' geral e eles seriam capazes de induzir as generalizações e princípios por eles mesmos.

A premissa sobre a qual se apoiavam tais projetos é a de que o conhecimento científico é composto pelos conhecimentos conceitual e procedimental e que o currículo de Ciências deveria privilegiar o ensino do método científico e não os produtos da pesquisa científica.

Para Millar (1991), os currículos caracterizaram o 'método científico' como uma série de passos discretos ou processos gerais, como observação, classificação, predição, formulação de hipóteses, comparação, planejamento e realização da atividade, que poderiam ser ensinados de forma isolada, transferíveis de um contexto para outro e utilizados em qualquer atividade de resolução de problemas. Ou seja,

> "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 eles próprios, os objetivos primordiais do ensino de Ciências" (Millar, 1991, p. 45).

---

[4] Conhecidos como *´process approach´*, alguns dos projetos curriculares mais conhecidos, enfatizavam o ensino das habilidades relativas ao processo de investigação científica foram o *Science – A Process Approach (1967), o Warwick Process Science (1986)* e o *Science in Process (1987).*

Porém, em dois trabalhos (Millar e Driver, 1987; Millar, 1991), Millar critica a tentativa de ensinar e desenvolver os chamados ‘processos da Ciência’. Segundo ele, é um erro caracterizar o ‘método científico’ como uma série de procedimentos discretos hierárquicos e que a maioria desses passos são, na verdade, processos cognitivos gerais que todos nós utilizamos sendo, portanto, não educáveis.

Uma das características desse ensino voltado para os ‘processos da Ciência’ foi que uma habilidade ou processo era focalizado em uma atividade especificamente concebida e preparada para desenvolver tal processo e, muitas vezes, não tinha relação com outras atividades ou processos sendo, portanto, situações artificiais, sem conexão com a realidade, carentes de significados para os alunos. Essa questão da descontextualização das habilidades e processos foi o motivo apontado por alguns autores (Barberá e Valdés, 1996; Ntombela, 1999) como o responsável pelo fracasso desses projetos. Para Carey et al (1989),

> “habilidades relativas ao processo são elementos importantes de uma metodologia científica... Mas, os currículos falham em identificar a motivação e a justificativa para o uso dessas habilidades na construção do conhecimento científico. Os estudantes não são desafiados a utilizar essas habilidades na exploração, desenvolvimento e avaliação de suas próprias idéias sobre os fenômenos naturais. Ao contrário, as atividades sobre as habilidades e método científico são concebidas fora de um contexto genuíno de investigação. Portanto, não há contexto para identificar a natureza e o propósito da pesquisa científica e a natureza do conhecimento científico.” (Carey et al.,1989, p. 2).

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 para que eles adquirissem características de investigações genuínas para que os estudantes se sentissem motivados e desafiados a resolvê-los. Sendo assim,

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

Numa investigação, idealmente espera-se que os próprios estudantes sugiram as formas e/ou 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 execução de atividades investigativas reais podem, portanto, contribuir para o estabelecimento das conexões entre a natureza da Ciência e seus conceitos e os procedimentos e atitudes da atividade científica (Hodson, 1988).

Em nossas pesquisas, temos solicitado aos estudantes que desenvolvam planos para investigar problemas práticos com graus variados de abertura (Borges, 2002) e executem atividades investigativas que duram, tipicamente, de uma a seis horas-aula (Borges e Rodrigues, 2003; Borges, Borges, Silva e Gomes, 2001; 2002). Com isso, procuramos compreender a atitude dos estudantes durante essas atividades. Durante a atividade, os alunos assumem, com o nosso apoio, a responsabilidade de estruturar todo o experimento, reconhecendo e definindo o problema, o planejamento da investigação, elaborando os objetivos e procedimentos, levantando os materiais necessários, realizando a experiência e analisando os resultados obtidos.

Com isso pretendemos deslocar o foco da atividade dos estudantes de coletar dados e fazer cálculos e relatórios, para pensar sobre o problema, sugerindo decisões que levem à solução. Os estudantes devem se ocupar de questões como: que variáveis são importantes naquela situação, quais fatores devem ser mantidos constantes, como realizar testes adequados e consistentes que permitam obter resultados para solucionar o problema proposto. No nosso entendimento, tais questões são fundamentais para o desenvolvimento do pensamento científico do indivíduo e devem ser explicitamente tratadas pelo currículo.

2.3 A utilização de simulações computacionais no ensino de Ciências

Como vimos na sessão anterior, educadores e fóruns educacionais têm demonstrado a importância e o valor das atividades práticas, organizadas como investigações com variados níveis de abertura e complexidade, como ambientes de ensino que ajudam a promover o

engajamento efetivo dos estudantes durante o processo de aprendizagem e contribuindo para a construção ativa do conhecimento. Porém, ainda hoje, a literatura carece de informações sobre como, com quais recursos, abordagens e metodologias esses ambientes podem ser implementados de forma a mudar o quadro atual de ensino, centrado, em geral, na transmissão passiva de informação. Para Brown e Edelson,

> "o que é necessário para se expandir o escopo e a escala das atividades de Ciências além de suas fronteiras tradicionais são ferramentas de investigações que proporcionem aulas com acesso a fenômenos abstratos e de grande escala bem como um currículo que crie contextos significativos para a realização de investigações ." (Brown e Edelson, 1999, p. 3).

Nas últimas décadas, as poderosas ferramentas de acesso, tratamento e análise da informação, de visualização, de simulação e comunicação que têm modificado de forma substancial a pesquisa em Ciência e Matemática têm sido levadas para a área educacional, de forma a beneficiar tanto os professores como os estudantes. Essa disponibilidade cada vez crescente das tecnologias da informação nos coloca frente a grandes oportunidades e desafios para o ensino de Ciências e nos leva a repensar as práticas escolares, sobretudo as atividades experimentais, de forma a quebrar o formalismo ainda predominante no ensino médio e de graduação, que cria um abismo entre os estudantes e as idéias importantes que esperamos que eles aprendam. A importância desses ambientes de aprendizagem ricos em tecnologia pode ser reconhecida pelo crescente número de pesquisadores de diversos países que passaram a dedicar-se ao tema, pela criação de periódicos exclusivos para a publicação na área e pela presença constante de artigos sobre o tema em periódicos de circulação nacional e internacional, inclusive com números completos dedicados ao tema[5].

Um dos motivos para a pesquisa e o esforço para a implementação das novas tecnologias no ensino de Ciências é a possibilidade do aumento dos estilos instrucionais possíveis, o que contribuiria mais facilmente para o ajuste das necessidades individuais de cada aluno. Devido a essa maior flexibilidade, o ensino de Ciências passaria a ser mais significativo e pessoal, motivando um número maior de alunos, principalmente aqueles que apresentam dificuldades com métodos tradicionais de ensino.

A utilização das novas tecnologias da informação, sobretudo dos computadores como ferramentas auxiliares para o estudo e ensino de Ciências não é novidade. Alternativas envolvendo o uso de computadores nos laboratórios didáticos têm sido pesquisadas desde o

[5] Veja Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, nº 2, junho de 2002.

final da década de 70. Em duas revisões de literatura (Berger, Lu, Belzer e Voss, 1994; Silva, 1995), os autores realizaram extensos levantamentos através de trabalhos publicados entre as décadas de 70 e 90 e identificaram diversas formas de aplicação dos computadores no ensino de Ciências, ressaltando as características próprias de cada uma e os principais resultados empíricos que reforçam a utilização dessas tecnologias no ensino.

Dentre as várias ferramentas ligadas às novas tecnologias da informação, as simulações computacionais vêm ganhando força devido à disponibilidade crescente de uma grande variedade de softwares e pacotes educacionais para professores e estudantes. Para Lunetta e Hofstein (1981), o termo simulação tem vários significados. Pode significar o modelamento de um determinado sistema que pode ser representado através de fórmulas matemáticas, um ambiente que represente a realidade e permita que o usuário se defronte com situações problemáticas ou um processo de interação com um modelo que representa determinada realidade.

Por não haver uma definição precisa de simulação, muitas atividades realizadas atualmente no ensino de Ciências podem ser consideradas atividades de simulação, mesmo que os professores não as reconheçam como tal. Lunetta e Hofstein (1981) identificam seis modos ou tipos de simulação que são classificados num contínuo quanto a sua dinamicidade e interação. Nessa classificação, desde filmes educativos, modelos de sistema solar com bolas de isopor, jogos como Banco Imobiliário e programas desenvolvidos por estudantes são todos exemplos de simulação, pois todos possuem uma característica básica em comum: apresentam variados graus de interação entre o usuário e o modelo simulado.

Jimoyiannis e Komis (2001) realizaram um trabalho comparativo entre um grupo de estudantes que recebeu apenas aulas teóricas e outro grupo que desenvolveu, além das aulas tradicionais, atividades através de simulação. Seu maior objetivo era identificar o efeito que as simulações exerceriam sobre os estudantes cujas idades variavam entre 15 e 16 anos, para o desenvolvimento de conceitos envolvidos na explicação do fenômeno de movimento de projétil como velocidade e aceleração. Para os autores,

> "...simulações computacionais são de importância especial para o ensino de Física. Simulações oferecem novos ambientes educacionais, os quais têm por objetivos aumentar as potencialidades instrucionais dos professores e facilitar o engajamento ativo dos estudantes. Simulações computacionais oferecem uma grande variedade de oportunidades para modelar conceitos e processos. Simulações fornecem uma ponte entre o conhecimento prévio dos estudantes e a aprendizagem de novos conceitos, ajudando-os a desenvolver uma compreensão

> científica através de uma reformulação ativa de suas concepções." (Jimoyiannis e Komis, 2001, p.185).

Jimoyiannis e Komis identificaram uma diferença significativa entre os grupos de estudantes quanto ao domínio dos conceitos, sobretudo os conceitos de velocidade e aceleração. Portanto, os autores confirmaram suas hipóteses sobre a utilização da simulação para o ensino de Física/Ciências, realçando sua importância para o refinamento de conceitos e para a correção de concepções inadequadas.

Apesar do impacto do uso de simulações na sala de aula depender dos detalhes do *software* e da forma como as atividades são implementadas (Steinberg 2000), diversos outros resultados (Berger, Lu, Belzer e Voss, 1994) também sugerem a importância e o papel das simulações para o ensino de Ciências.

Pela análise das pesquisas (Lunetta e Hofstein, 1981; Gatto, 1993; Medeiros e Medeiros, 2002), um ambiente de simulação deve, principalmente:

- Fomentar uma compreensão mais profunda dos fenômenos físicos;
- Acentuar a formação dos conceitos e promover a mudança conceitual;
- Tornar os conceitos abstratos mais concretos;
- Oferecer rapidamente respostas às ações e aos procedimentos executados;
- Modelar fenômenos físicos e processos;
- Transformar a sala de aula em centros de aprendizado baseados em investigações;
- Utilizar uma variedade de representações (desenhos, animações, gráficos, vetores e telas com dados numéricos) úteis na compreensão dos conceitos, relações e processos abordados;
- Desenvolver a habilidade de resolução de problemas.

Além disso, um bom *software* de simulação, segundo Cabrera (1988), (i) não deve exigir nenhuma experiência prévia dos estudantes para o manuseio e compreensão do programa, (ii) deve fazer o uso extensivo de gráficos, (iii) a apresentação e os formatos devem ser os mais simples possíveis, (iv) cada passo da simulação deve ser facilmente compreendido e, (v) deve possibilitar o processo de formulação e teste de hipóteses.

O uso de simulações com o computador permite ao professor adaptar a atividade a objetivos específicos. Com elas, pode-se diminuir ou aumentar o nível de dificuldade e complexidade do fenômeno, incluir ou excluir alguns aspectos, além de aumentar ou diminuir o número de variáveis envolvidas. Por isso, além das vantagens levantadas acima, a importância educacional de simulações, segundo pesquisadores (Gatto, 1993; McKinney,

1997), é devida ao seu uso abrangente que, quando combinado com uma abordagem investigativa, promove uma oportunidade para os estudantes, de qualquer área, de explorar uma gama enorme de problemas práticos e conceituais das mais variadas formas, naturezas e complexidade podendo, assim, ser incorporado em qualquer fase do aprendizado.

Apesar de destacarmos a importância das simulações computacionais para o ensino de Ciências, não defendemos a completa substituição das atividades de laboratório por esse tipo de atividade. As atividades práticas que envolvem o manuseio de materiais e equipamentos e a visualização real de fenômenos, dentro de um ambiente físico propício, são fundamentais para o desenvolvimento do indivíduo. De uma forma geral, pesquisadores (Lunetta e Hofstein, 1981; Gatto, 1993; Jimoyiannis e Komis, 2001) incentivam o uso de simulações computacionais nas situações em que os custos de outras estratégias educacionais sejam elevados, os riscos com a atividade real sejam altos e o estudo dos fenômenos e eventos seja impossível devido a sua duração (extremamente curta ou longa). Porém, muito mais importante do que as ferramentas utilizadas para implementação da atividade, estão a didática e a metodologia envolvidas, que definirão todas as relações de ensino/aprendizagem. Ou seja, ao invés de simplesmente adotar a nova tecnologia, a sua implementação deve gerar mudanças no processo de ensino-aprendizagem, tornando-o mais flexível, pessoal e inovador.

> "Experiências em laboratório que utilizam técnicas de visualização na forma de simulações, modelos, gráficos em tempo-real, e vídeo podem fornecer a oportunidade para o estudante de não apenas desenvolver seu entendimento e reforçar suas concepções, mas também de desenvolver suas habilidades em investigações científicas. A incorporação dessas tecnologias no laboratório pode fornecer a oportunidade dos estudantes de se envolverem com um processo ativo de aprendizagem." (Escalada e Zollman, 1997, p. 468).

Atualmente, devido ao tradicionalismo que exerce forte influência sobre as atividades práticas, refletindo sobre a postura passiva dos estudantes com respeito ao processo de aprendizagem, a utilização de simulações passou a incorporar essa passividade, na medida em que apresenta atividades do tipo "livro de receita", nos quais os estudantes são levados a cumprir passo a passo as instruções indicadas. Para Steinberg (2000), o risco que se corre com a utilização de simulações no ensino é, portanto, o de acreditar que a aprendizagem decorrerá apenas do fato de o aluno visualizar o fenômeno e acompanhar sua dinâmica. Porém, esse tipo de aprendizado passivo é atualmente muito combatido.

Windschitl e André (1998) investigaram a diferença na aprendizagem e na mudança conceitual de estudantes ao trabalharem com simulações em ambientes construtivista e

tradicional. Eles encontraram evidências que demonstram que simulações exploratórias podem ser mais efetivas do que as atividades comprobatórias em promover a compreensão e a mudança conceitual nos estudantes.

A indicação clara que emerge desse argumento é a necessidade da pesquisa educacional para orientar a utilização das novas tecnologias, sobretudo das simulações computacionais. Muitas vezes, a implementação de novidades tecnológicas não vem acompanhada de um retorno adequado para as práticas educacionais, que informa e supervisiona os resultados obtidos, guiando possíveis modificações e melhorias.

Portanto, acreditamos que apenas a disponibilidade de novas ferramentas não é suficiente. Elas devem vir acompanhadas de um currículo e de uma série de atividades apropriadas que forneçam aos alunos mais liberdade de pensar e criar soluções para os problemas propostos e que utilizem ao máximo as vantagens das simulações para se obter um ganho significativo no aprendizado.

3 HABILIDADES RELATIVAS AO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO

> *Uma grande descoberta envolve a solução de um grande problema, mas há uma semente de descoberta na solução de qualquer problema. Seu problema pode ser modesto; porém, se ele desafiar sua curiosidade e fizer funcionar sua capacidade inventiva, e caso você o resolva sozinho, então você poderá experimentar a tensão e o prazer do triunfo da descoberta.*
>
> George Polya (How to Solve It)

3.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo faremos uma discussão sobre as diversas habilidades cognitivas mobilizadas pelos indivíduos durante o processo de investigação, que como vimos no final da seção 2.2, é uma atividade complexa que requer a coordenação de uma série de habilidades. O objetivo principal do processo de investigação é a aquisição de conhecimento através da formulação e teste de hipóteses por meio da experimentação. Considerando que indivíduos, principalmente estudantes, quando engajados nesse tipo de atividade, enfrentam certas dificuldades características, grande esforço vem sendo empregado então, para compreender o seu raciocínio durante essas atividades, para que sejam estabelecidas metas curriculares e formas de se promover melhor o desenvolvimento do pensamento científico.

Concebendo a atividade científica e as atividades desenvolvidas dentro do laboratório escolar pelos estudantes como um processo de resolução de problemas, dentro do modelo SDDS desenvolvido por Klahr e Dunbar (1988), discutimos a influência dos conhecimentos gerais e específicos mobilizados pelos indivíduos durante as atividades sobre os principais processos que o compõem.

Finalmente, dada sua importância para a definição e execução dos procedimentos experimentais, na seção 3.6 e em suas subseções discutimos quais os fatores e características das atividades afetam a capacidade de indivíduos de reconhecer e implementar testes experimentais adequados e consistentes e como podemos desenvolvê-la em nossos estudantes.

3.2 O modelo SDDS

Segundo Gott e Duggan (1995), os processos e habilidades relacionados à atividade investigativa podem ser vistos como resultantes da interação de dois tipos distintos de conhecimento: o conceitual e o procedimental. O conhecimento conceitual consiste no entendimento das idéias da Ciência, que são baseadas em fatos, leis e princípios e é referido, muitas vezes, como conhecimento declarativo. O conhecimento procedimental refere-se aos conhecimentos necessários para fazer Ciência, ou seja, os procedimentos e estratégias necessárias para obtenção da solução de um problema.

Boa parte das críticas dirigidas às pesquisas na área de cognição nas décadas de 70 e 80 deveu-se ao tratamento separado desses dois tipos de conhecimento e das diversas habilidades relativas à pesquisa científica. Os currículos vigentes nos países europeus e da América do Norte enfatizavam o ensino dos processos da Ciência. Estes eram um conjunto de habilidades e competências comparadas aos processos e etapas do método científico, que podiam ser tratados como processos isolados e independentes, e que poderiam ser estudados, além de ensinados e aprendidos, isoladamente. Porém, Séré (2002) afirma que a distinção clássica entre os objetivos conceituais, procedimentais e epistemológicos atribuídos às atividades de laboratório não têm utilidade. Todos esses componentes aparecem de forma imbricada e dependente uns dos outros, o que caracteriza os diferenciais e as dificuldades das atividades práticas.

Reconhecendo a importância da integração dos conhecimentos conceituais e procedimentais, Klahr e Dunbar (1988) propuseram um modelo integrado dos processos cognitivos envolvidos na resolução de problemas práticos. Em seu trabalho, Klahr e Dunbar observaram universitários enquanto estes 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.

Outros pesquisadores (VanLehn, 1989; Klahr e Simon, 2001) também vêem a pesquisa científica como a resolução de problemas. Segundo essa visão, um problema constitui-se por um estado inicial, um estado final desejado, e um conjunto de operações e operadores para transformar o estado inicial no estado final desejado, através de uma série de passos discretos e estados intermediários. A aplicação e utilização dessas operações e operadores estão condicionadas a determinadas limitações, que são constituídas pelas

características do problema, pela experiência e pelo conhecimento prévio do indivíduo. O conjunto das operações, operadores e limitações que compõem o problema, constitui o campo do problema e o seu processo de resolução pode ser caracterizado como uma procura ou busca por caminhos ou ligações entre os estados inicial e final.

Para Mayer e Wittrock (1996), se considerarmos a definição acima, o processo de resolução de problemas possui quatro características fundamentais. Primeira, a resolução de problemas é um processo desenvolvido pelo sistema cognitivo do indivíduo e que pode ser inferido indiretamente através de mudanças no seu comportamento. Segunda, a resolução de problemas é um processo que envolve a representação e manipulação de conhecimentos por parte do indivíduo. Terceira, a resolução de problemas é direcionada para objetivos e metas. Quarta, a resolução de problemas é pessoal, o conhecimento e as habilidades individuais de cada indivíduo ajudam a determinar o grau de dificuldade ou facilidade para a obtenção da solução do problema.

O grau de determinação de cada um dos componentes básicos de um dado problema (seu estado inicial, estado final, operadores e limitações) pode variar ao longo de um contínuo cujos extremos seriam componentes bastante determinados, de um lado, e componentes completamente desconhecidos, do outro. Podemos demonstrar essa afirmação com alguns exemplos. Para a atividade de montar um quebra-cabeça, o estado inicial (as peças desorganizadas sobre a mesa) e o estado final (a figura que ilustra a caixa do brinquedo) são bem definidos e conhecidos. A dificuldade da atividade está em efetuar mudanças no estado inicial, efetuando operações (encaixar as peças) para alcançar o estado final. Trabalhar com palitos de dente é uma brincadeira comum em mesas de restaurantes. Dentre essas brincadeiras está a de transformar uma expressão matemática falsa (estado inicial definido) em uma expressão verdadeira, modificando apenas um palito (operação bem definida). O estado final não é completamente definido, pois temos algumas opções para realizarmos satisfatoriamente a atividade. Por fim, a cura de determinado câncer, uma das preocupações científicas atuais, também se encaixa no modelo. O estado inicial (a situação do paciente enfermo) e o estado final (o paciente curado) são bem definidos. Mas as operações e procedimentos que possibilitariam uma vacina ou um remédio não são ainda bem determinados, o que impossibilitou, até hoje, obter sucesso nesse problema.

Essa caracterização formal do processo de resolução de problemas, devido a sua generalidade, pode ser aplicada em uma gama enorme de situações, desde atividades do cotidiano, até investigações científicas. 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 os autores, 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. Ela pode ser formulada por meio de experimentos exploratórios, caso o conhecimento seja insuficiente ou haja falta de informações fundamentais.

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

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, não há menção sobre o que constitui um experimento bom 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 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 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 e caracteriza 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 o domínio e a necessidade do refinamento teórico.

Segundo diversos autores (Klahr, 2000; Zimmerman, 2000), os processos cognitivos envolvidos no processo de investigação na Ciência podem ser classificados segundo duas dimensões: a primeira representando o grau de especificidade/generalidade do conhecimento requerido para a tarefa, e a segunda representando os tipos de processos envolvidos durante a investigação.

A dicotomia entre conhecimento específico e conhecimento geral remonta à separação entre conhecimentos conceitual e procedimental, associando, assim, que os conhecimentos conceituais seriam específicos e que os conhecimentos procedimentais seriam gerais, independentes do domínio teórico. Porém, segundo Klahr (2000), é possível haver conhecimentos conceituais que são gerais e específicos, assim como conhecimentos procedimentais ou estratégias que são gerais e específicos. Assim, utilizamos aqui, a definição de Alexander e Judy (1988) para conhecimento específico do domínio como o conhecimento declarativo, procedimental e condicional que um sujeito possui relativo a um campo particular de estudo. O conhecimento declarativo refere-se às informações factuais (saber que), enquanto o procedimental é a compilação do conhecimento declarativo em unidades funcionais que podem ou não incorporar estratégias específicas (saber como). O saber condicional ou estratégico engloba o entendimento de como coordenar as informações e quando e onde aplicar determinados procedimentos. Finalmente, consideramos como geral os conhecimentos conceituais e procedimentais que são independentes de domínio teórico e podem ser aplicados a uma vasta quantidade de problemas e atividades.

O quadro 3.1 (Klahr, 2000) caracteriza a interação entre essas duas dimensões. As duas linhas do quadro correspondem à diferença entre os conhecimentos específicos e gerais, e as três colunas correspondem aos principais componentes do processo de investigação segundo o modelo SDDS, que caracteriza a investigação científica como um processo de resolução de problemas. As seis células que compõem o quadro 3.1 representam, de forma isolada, a influência mútua entre o tipo de conhecimento envolvido (específico x geral) e um determinado processo da atividade científica. Essas células representaram, até o final da década de 80, os focos de pesquisa na área da psicologia educacional. É justamente sobre as pesquisas que envolveram o estudo isolado de cada uma dessas células que abordaremos a seguir.

Quadro 3.1 – Caracterização da atividade científica segundo duas dimensões

	Formulação de hipóteses	**Processo de Experimentação**	**Análise das evidências**
Conhecimento específico	**A**	**B**	**C**
Conhecimento geral	**D**	**E**	**F**

3.3 Estudos que focam aspectos unicelulares referentes ao processo de investigação

Dada a dificuldade e complexidade do estudo do pensamento humano, os primeiros estudos na área da cognição aplicados à educação concentraram suas atenções em aspectos específicos e selecionados do processo de investigação, justamente aqueles que compõem, individualmente, as células do quadro 3.1 Com isso, a dicotomia entre conhecimento específico versus conhecimento geral foi acentuada, gerando duas literaturas quase que distintas.

Talvez, o marco inicial dessa 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 níveis ou estágios do desenvolvimento.

Inhelder e Piaget afirmam que antes da adolescência e do desenvolvimento das operações formais, as crianças não possuem um controle efetivo que guie seus procedimentos durante a experimentação, o que justificaria, principalmente, as falhas procedimentais das crianças em atividades investigativas, inclusive a execução de testes adequados e consistentes.

Para os autores, 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 alcançado 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 execução de testes adequados e consistentes.

Apenas ao atingir o estágio do pensamento lógico-formal, o adolescente se torna capaz de refletir e operacionalizar as diversas transformações e operações obtidas e aprendidas nos estágios anteriores como a seriação, classificação e relação. Isso permite que o indivíduo

reúna um certo número de esquemas operatórios que utilizará continuamente em seu pensamento experimental, constituindo uma lógica formal aplicável a qualquer conteúdo (Coutinho e Moreira, 2001), realçando o caráter geral do fenômeno dos esquemas operatórios formais.

Atualmente, a dicotomia entre os conhecimentos gerais e específicos é mais branda, com o reconhecimento amplo de que as habilidades relativas ao processo de investigação científica não são nem totalmente generalizáveis, nem totalmente dependentes do domínio teórico. Nas palavras de Kuhn,

> "algumas habilidades demonstram-se mais generalizáveis do que outras e os resultados das pesquisas de maneira alguma reforçam a idéia de um modelo de aquisição de habilidades totalmente independente do contexto. Porém, os resultados também demonstram evidências contra o outro extremo – de que não há habilidades cognitivas generalizáveis entre contextos ou domínios específicos. Ao invés disso, os resultados apontam para uma certa generalidade e transferência do desenvolvimento dessas habilidades entre contextos." (Kuhn, 1989, p. 686).

Apesar do reconhecimento da interação e interdependência entre os conhecimentos gerais e específicos, a questão sobre o que define ou o que distingue o grau de especificidade/ generalidade do conhecimento requerido para determinada tarefa ainda está em aberto e atrai pesquisadores e educadores. Resultados de pesquisas apontam que a natureza, o contexto e o domínio teórico da atividade são fundamentais nessa distinção.

Nessa parte inicial, revisaremos os principais trabalhos elaborados ainda dentro do paradigma da separação entre os conhecimentos gerais e específicos e ressaltaremos suas principais contribuições para a área.

3.3.1 Célula A: O efeito de conhecimentos específicos sobre a formulação de hipóteses

Boa parte da pesquisa em ensino de Ciências nas décadas de 80 e 90, concentrou-se em investigar, descrever e analisar os conceitos e idéias que os indivíduos possuem sobre os mais diversos fenômenos em áreas da Ciência. Um dos principais focos dessas pesquisas são as idéias ou 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 social. Esses estudos, acompanhados pelas pesquisas na área de mudança conceitual (Posner, Strike, Hewson e Gertzog, 1982) e de

modelos mentais (Borges, 1999), têm revelado a importância e o papel dessas concepções prévias para os estudantes:

> "assim como as teorias científicas servem tanto para organizar e explicar observações como para direcionar progressos futuros na Ciência, as idéias das crianças sobre os fenômenos naturais tem um papel organizacional na construção de novos conhecimentos e na interpretação de novas informações." (Driver, Squires, Rushworth e Robinson, 1994, p.7).

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 raciocinarem em domínios específicos e (c) possuem uma rede de relações causais coerente que interliga vários conceitos dentro de um mesmo domínio. Portanto, a pesquisa sobre a caracterização das estruturas cognitivas e conceituais específicas de cada domínio torna-se fundamental, uma vez que o conjunto de concepções e conceitos alternativos adquiridos molda a aquisição de novos conhecimentos nesses domínios.

A metodologia da maioria das pesquisas nessa área consiste em testes e entrevistas, estruturadas ou semi-estruturadas, nas quais os pesquisadores, por meio de pequenos problemas e perguntas, podem inferir o conhecimento dos indivíduos sobre um fenômeno natural específico. Esse foi o procedimento adotado por McCloskey (1983) para identificar as concepções espontâneas de universitários sobre o movimento dos corpos. Nos treze problemas utilizados pelo autor, havia a descrição de uma situação (uma bola sendo solta de um avião, por exemplo). Então, era solicitado aos participantes que previssem e justificassem a trajetória da bola. Entre os participantes da pesquisa, havia estudantes que nunca tinham tido aulas de Física, estudantes que tiveram aulas de Física no ensino médio e estudantes que tiveram pelo menos um ano de Física na faculdade.

Os resultados obtidos por McCloskey (1983) foram corroborados por outros estudos semelhantes (para uma revisão, veja Giorgi, Concari e Pozzo, 2003) e indicam que parte dos participantes confundem conceitos como força, inércia e quantidade de movimento, além de possuírem uma teoria intuitiva para o movimento dos corpos semelhante à teoria do *impetus*. Essa teoria é baseada na idéia de que quando postos em movimento, os objetos contêm uma ´força´ que diminui ou se consome com o tempo. É interessante notar que o autor apóia uma analogia entre as teorias e concepções apresentadas pelos participantes em sua pesquisa e o desenvolvimento histórico dos conceitos fundamentais da Física.

Driver, Squires, Rushworth e Robinson (1994) fazem uma revisão das principais pesquisas sobre as concepções prévias de estudantes desenvolvidas entre o final da década de 70 e início da década de 90. Um dos propósitos do livro é de preparar os professores de Ciências para que levem em consideração a existência dessas concepções prévias que os estudantes trazem para a sala de aula e fiquem atentos a elas quando planejam e executam as atividades pedagógicas.

A revisão da literatura presente no livro é abrangente, envolvendo os mais diversos campos da Ciência e está dividida em três partes. Na Parte I, "As idéias das crianças sobre vida e processos biológicos", são abordados temas e conceitos como crescimento, nutrição, micróbios e ecossistemas. Na Parte II, "As idéias das crianças sobre materiais e suas propriedades", discute-se temas ligados à Ciência da terra e composição dos materiais como a água, pedras, etc. A Parte III, "As idéias das crianças sobre os processos físicos", baseia-se fundamentalmente na discussão dos conceitos físicos como a gravidade, a luz, a Terra no espaço, o movimento, o calor e a temperatura.

Wandersse, Mintzes e Novak (1994) fazem uma extensa revisão bibliográfica da pesquisa sobre concepções alternativas nos campos da Física, Química e Biologia. Baseados nessa revisão, afirmam que oito pontos em comum emergem dos trabalhos sobre concepções espontâneas e sumarizam alguns consensos presentes nessa área de pesquisa:

1. Estudantes vêm para as aulas de Ciências com uma gama enorme de concepções sobre os mais diversos fenômenos naturais;
2. As concepções alternativas dos estudantes não são formas idiossincráticas de pensamento e, sim, apresentam padrões que vão além da idade, gênero e cultura;
3. As concepções alternativas são resistentes a mudanças e os estudantes tendem a mantê-las, mesmo após aulas formais;
4. As concepções alternativas representam, muitas vezes, as formas de pensamento dos cientistas e filósofos das gerações passadas;
5. As concepções alternativas têm suas origens nas diversas relações pessoais do indivíduo e na sua relação com o professor e o material didático;
6. Muitas vezes, até mesmo os professores possuem as mesmas concepções alternativas que os estudantes sobre determinados fenômenos;
7. O conhecimento prévio dos estudantes interage com o conhecimento apresentado durante as aulas resultando, muitas vezes, em desempenhos escolares aquém do esperado.

8. Abordagens pedagógicas que facilitem ou promovam a mudança conceitual podem ser recursos didáticos eficientes.

As revisões das pesquisas que identificam o conhecimento específico de indivíduos sobre vários fenômenos naturais mostram que mesmo simples idéias ou concepções intuitivas, muitas vezes pouco ligadas às estruturas de pensamento, até 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. Sendo assim,

> "essas supostas teorias intuitivas têm as mesmas funções explicativas e preditivas para as crianças que as teorias formais têm para os cientistas, portanto, permitindo a crianças e cientistas não apenas observar e descrever fenômenos, mas também fornecer explicações e previsões." (Amsel e Brock, 1996, p. 524)

É importante perceber que os trabalhos descritos acima e as revisões apresentadas, limitam-se em apresentar apenas as idéias e conhecimentos prévios dos participantes das pesquisas. Na maioria dos casos, não são fornecidas aos participantes, oportunidades para reverem ou modificarem suas hipóteses ou idéias, seja através da experimentação, da provisão de informações adicionais e de aulas formais sobre os assuntos. Isso justifica a classificação desses trabalhos, na célula A do quadro 3.1.

3.3.2 Célula B: O efeito de conhecimentos específicos sobre o teste de hipóteses

Os trabalhos apresentados a seguir pesquisam a habilidade dos indivíduos de reconhecer e implementar testes experimentais adequados e consistentes para o teste de hipóteses. Esses trabalhos utilizam domínios teóricos bem familiares aos participantes que possuem, muitas vezes, idéias ou concepções alternativas sobre os domínios das atividades. Porém, essa familiaridade com o domínio teórico da atividade nem sempre ajuda os participantes que recorrem, muitas vezes, a respostas idiossincráticas e não reconhecem o objetivo real da atividade.

Wollman (1977a, 1977b) investiga, através de problemas de lápis e papel, a capacidade de 1421 estudantes do ensino fundamental e médio em reconhecer e escolher testes adequados e consistentes para testar as hipóteses apresentadas nos diversos problemas.

Os problemas foram compostos em ordem decrescente de dificuldade e envolviam todos o mesmo domínio teórico. O problema era composto por uma calha inclinada nos dois lados e uma esfera alvo, em repouso, no centro.

No primeiro problema, os participantes decidiam se soltavam duas esferas pesadas, duas leves ou uma pesada e uma leve para determinar se a altura em que essas esferas seriam soltas influenciava no deslocamento da esfera alvo. No segundo problema, foi comunicado aos participantes que foi solta, inicialmente, uma esfera leve da posição mais alta. Eles deveriam, então, determinar se a próxima esfera a ser solta da posição mais baixa deveria ser pesada ou leve. O terceiro, o quarto e o quinto problemas apresentavam situações experimentais em que os participantes deveriam julgar sua adequação para resolver os problemas propostos. Nenhum dos três últimos problemas apresentava um teste adequado e consistente. Em todos eles, juntamente com a variável em foco, havia a mudança de alguma outra variável.

Como resultado, Wollman afirma que os participantes da pesquisa não analisaram o problema em termos de um conjunto de variáveis. Até mesmo quanto estas estão especificadas, eles não determinaram espontaneamente a influência de cada uma delas, modificando apenas uma variável por vez. O autor também critica a teoria de desenvolvimento cognitivo de Piaget, considerando que a distinção entre os níveis concreto e formal é relativa, pois os participantes podem ter desempenhos diferentes em problemas diferentes, mesmo que eles envolvam as mesmas características lógicas e operacionais.

Wollman afirma que idéias intuitivas de adequação e consistência nos testes experimentais, restritas inicialmente a poucas situações com reduzido número de variáveis, podem se desenvolver a outros domínios se os sujeitos forem confrontados com questões sobre a validade dos dados e evidências.

3.3.3 Célula C: O efeito de conhecimentos específicos sobre a avaliação de evidências

Os estudos apresentados a seguir, que investigam o efeito de conhecimentos específicos sobre a avaliação de evidências, concentram-se na habilidade dos indivíduos em decidir quais hipóteses são corroboradas ou não a partir de determinados conjuntos de evidências. 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 participantes da pesquisa em coordenar seus conhecimentos específicos com as evidências apresentadas.

Em seu trabalho com crianças, Kuhn e Brannock (1977) avaliam o surgimento e o desenvolvimento da habilidade de reconhecer situações em que um controle de variáveis adequado foi exercido e estimam o "estado final" desse desenvolvimento em adultos. Para isso, foram utilizados dois problemas com contextos bastante distintos: um envolvendo o pêndulo simples e, o outro, chamado de "natural", que abordava o crescimento de uma planta e que, na opinião dos autores, aproxima-se melhor dos problemas naturais do dia-a-dia.

Participaram da pesquisa 60 crianças, divididas em três faixas etárias com idades variando entre 10 e 12 anos e 20 adultos universitários. As evidências foram apresentadas aos participantes na forma de desenhos. Todos os participantes trabalharam com os dois problemas. Para o problema da planta, por exemplo, havia três variáveis independentes (água, loção para as folhas e tipo de adubo) e apenas uma (tipo de adubo) influenciava na forma como a planta se desenvolvia. Os participantes eram, então, solicitados a julgar e justificar seu julgamento sobre a causalidade das variáveis independentes sobre o crescimento sadio ou não da planta.

Os resultados da pesquisa indicam que apenas gradualmente as pessoas desenvolvem a habilidade de avaliar a causalidade de variáveis em contextos "naturais", ou seja, com a presença de diversas variáveis. Além disso, os dados suportam a idéia de que os indivíduos, ao justificarem as escolhas realizadas, não se baseiam apenas nas evidências apresentadas, mas utilizam concepções e teorias para ajudá-los. Com isso, o desempenho dos indivíduos nos dois problemas apresenta diferenças significativas, apesar de requererem a mesma habilidade para avaliar a causalidade de variáveis.

Amsel e Brock (1996) tentam explicar as diferenças e o processo de desenvolvimento da habilidade de avaliar evidências ao trabalharem com diversas faixas etárias e escolaridade (dois grupos de crianças com idades entre 7 e 10 anos e entre 11 e 14 anos e dois grupos de adultos, universitários e não-universitários, com idades entre 18 e 55 anos). O objetivo da pesquisa era o de determinar a capacidade de avaliação de evidências dos indivíduos em uma situação familiar na qual o conhecimento prévio é bastante acentuado. Para isso, foi solicitado aos participantes da pesquisa que julgassem e justificassem o status de causalidade de duas determinadas variáveis. Essas variáveis foram selecionadas a partir de uma pesquisa-piloto. Nesse piloto, os então participantes haviam julgado que a presença/ausência de sol era fundamental para decidir se a planta iria ou não crescer saudável.

Além disso, eles consideraram o elemento sorte como não-causal para o crescimento da planta.

A atividade foi desenvolvida tentando minimizar as demandas cognitivas dos participantes, uma vez que trata-se de um domínio teórico familiar (crescimento de planta) e aborda apenas o efeito de uma variável independente sobre outra dependente.

Na fase inicial da pesquisa, os participantes foram entrevistados sobre a suposta causalidade das duas variáveis (sol e sorte) para o crescimento sadio de uma planta. Apenas aqueles entrevistados que acreditavam que a quantidade de sol era importante ou causal para o crescimento sadio da planta e que o elemento sorte não era importante ou não-causal passaram para a segunda fase da pesquisa. Nessa fase, os participantes deveriam julgar e justificar a suposta causalidade dessas duas variáveis para o crescimento sadio da planta, baseando-se apenas em quatro conjuntos de evidências apresentadas. Uma importante característica do estudo foi que as respostas eram dadas na forma de escores, que forneciam uma idéia da certeza do indivíduo sobre a causalidade das variáveis em cada situação.

Cada conjunto de evidências era composto por desenhos que apresentavam plantas sadias ou plantas doentes covariando ou não perfeitamente com as duas variáveis. Além disso, para alguns participantes, além desses quatro conjuntos de evidências, foram apresentados outros dois conjuntos de evidências em que havia informações incompletas a respeito das variáveis (presença/ausência de sol; presença/ausência de sorte) ou do resultado (planta sadia ou planta doente).

Como resultado da pesquisa, Amsel e Brock sustentam a idéia de que o processo de desenvolvimento da habilidade de avaliar evidências pode ser encarado como um processo contínuo e, ao mesmo tempo, descontínuo. O processo pode ser considerado contínuo, uma vez que os participantes de todas as faixas etárias julgaram corretamente a variável como causal quando ela covariou com o resultado da planta sadia e, julgaram a mesma variável como não causal, quando ela não covariou com o resultado da planta sadia.

Porém, o processo do desenvolvimento da habilidade de avaliar evidências pode ser considerado descontínuo uma vez que há uma diferença significativa entre os grupos de crianças e adultos com relação a três aspectos, a saber: (i) a quantidade de justificativas baseadas em teorias realizadas pelos grupos de crianças; (ii) a dificuldade de julgar uma variável previamente considerada causal (sol) como sendo não-causal, mesmo na presença de uma covariação perfeita com o resultado de uma planta doente; (iii) a influência que o conjunto de evidências contendo informações incompletas exerceu sobre a avaliação dos grupos de crianças.

Koslowski, Okagaki, Lorenz e Umbach (1989) analisam se jovens (idades entre 11 e 15 anos) e adultos universitários, ao julgarem a suposta causalidade de fatores sobre determinados efeitos, em fenômenos de diversas naturezas, baseiam-se apenas em evidências de covariação ou se fatores como o mecanismo de causalidade, o sistema de amostragem e o tamanho da amostra exercem alguma influência sobre esse julgamento.

Para o estudo, os participantes da pesquisa foram apresentados a uma série de estórias nas quais um personagem procurava descobrir se determinado fator estava ou não relacionado causalmente com determinado efeito. Foram construídas seis estórias que envolviam diversas áreas como a venda de livros, aditivos para gasolina e o tratamento de uma doença. Cada estória consistia de três seções. A seção do problema descrevia a situação e definia o problema que o personagem gostaria de resolver. A seção da evidência continha informações adicionais que o personagem possuía e a seção da conclusão continha uma escala na qual o participante deveria opinar sobre a suposta causalidade do fator sobre o efeito e algumas perguntas adicionais.

Para todos os participantes, as seções do problema e da conclusão foram iguais, apenas a seção da evidência foi diferente. Nela, os pesquisadores controlaram as informações e as evidências que eram passadas aos participantes. Essas informações apresentavam diferenças sobre a presença/ausência de um mecanismo de causalidade, o sistema de amostragem (controlado ou natural), o tamanho da amostra (grande ou pequena) e a presença/ausência de covariação com o efeito.

Os resultados da pesquisa sugerem que adolescentes possuem um conhecimento, muitas vezes tácito, de que a presença da covariação entre fator/efeito é considerada fundamental uma vez que os adolescentes mantiveram o status de causalidade mesmo quando não havia a presença de um mecanismo de causalidade e o tamanho da amostra era pequeno. O que é aprendido com a escolaridade e a idade é uma maior preocupação com as outras informações e o reconhecimento da limitação da simples covariação para indicar a causalidade entre fenômenos.

3.3.4 Célula D: O efeito de conhecimentos gerais sobre a formulação de hipóteses

Os trabalhos que fazem parte da célula D estudam como os indivíduos obtêm e utilizam as informações disponíveis para formular hipóteses, sobretudo, sobre a relação de causalidade entre variáveis. Ao contrário dos trabalhos descritos na célula A, o estudo

apresentado a seguir (White, 1988), não se limita em identificar as hipóteses ou a estudar como os indivíduos formulam hipóteses em determinados domínios teóricos. Sua preocupação volta-se para as habilidades e limitações gerais dos indivíduos em formular hipóteses, independentemente do contexto.

White (1988) apresenta uma extensa revisão sobre as origens e 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 considerados isoladamente, o processamento dessas relações durante a infância fica limitado às associações que a criança é capaz de perceber ou reconhecer. Porém, crianças apresentam grandes dificuldades em reconhecer as relações e associações entre eventos, sobretudo aquelas que ocorrem em diferentes intervalos 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 nossa orientação certas dicas ou pistas para o estabelecimento das diversas relações entre eventos, sobretudo as relações de causalidade.

Dentre as dicas ou pistas analisadas por White que auxiliam o indivíduo a identificar relações causais, além da presença da covariação entre os eventos ou fatores, estão: (i) *transmissão produtiva* (um evento é considerado a causa, se ele é capaz de gerar um efeito apropriado); (ii) *ação intencional* (em contraste com ações acidentais ou reflexivas); (iii) *proximidade temporal* (quando causa e efeito coincidem temporalmente); (iv) *ordem temporal* (a causa sempre precede o efeito), (v) *proximidade espacial* (quando causa e efeito estão em contato espacialmente); (vi) *similaridade* (quando causa e efeito são similares a eventos previamente identificados como causais). 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 adultos apresentam falhas na sua aplicação (Kuhn, Amsel e O'Loughlin, 1988).

O desenvolvimento do processo de atribuição de causalidade entre os eventos consiste, sobretudo, em abstrair das características invariáveis das relações entre os eventos, as dicas e pistas acima citadas. Uma vez que essas dicas ou pistas são abstraídas e generalizadas, elas podem ser utilizadas pelo indivíduo para estabelecer relações de causalidade mais sofisticadas. A importância de cada dica ou pista para o processamento das relações causais

entre eventos em adultos é um reflexo de como essas dicas 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, isto é, a noção de que um evento pode causar ou 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, através dessa habilidade, conhecimentos específicos sobre os mais diversos domínios.

3.3.5 Célula E: O efeito de conhecimentos gerais sobre o teste de hipóteses

Os estudos pertencentes a essa célula centram suas atenções na capacidade dos participantes em reconhecer e realizar testes experimentais adequados e consistentes para testar hipóteses bem determinadas, em contextos nos quais os participantes não possuem conhecimentos específicos. Portanto, não há hipóteses alternativas, nem evidências que podem ser interpretadas de acordo com o conhecimento prévio. Cada participante deve, para resolver os problemas propostos, efetuar uma busca eficiente no espaço dos experimentos, selecionando, entre as opções, aqueles que mais contribuem para a solução do problema.

Desejando estabelecer a capacidade de crianças em diferenciar hipóteses e evidências, Sodian, Zaitchik e Carey (1991) elaboraram dois estudos com o objetivo de responderem às perguntas: (i) As crianças têm a noção de teste de hipóteses e diferenciam esse teste da produção de um determinado resultado? (ii) Dadas duas hipóteses rivais e contrastantes, as crianças são capazes de distinguirem experimentos que produzem evidências conclusivas de testes não conclusivos?

A natureza das atividades escolhidas pelos autores para os estudos contribuiu para que as crianças participantes (34 crianças entre 6 e 9 anos de idade) não possuíssem nenhum conhecimento prévio ou hipótese preferencial, o que justifica a classificação desse trabalho.

Para o primeiro estudo realizado, foi utilizada uma estória sobre dois irmãos que divergiam sobre o tamanho de um rato que havia na casa. Apesar deles nunca terem visto o rato, um irmão acreditava que o rato era pequeno e o outro, grande. Eram descritas duas caixas: uma com uma abertura pequena e outra, com a abertura grande. Em seguida, era perguntado às crianças qual das duas caixas os irmãos deveriam colocar comida para que, se na manhã seguinte, a comida tivesse desaparecido, eles pudessem ter certeza sobre o tamanho do rato. Foram feitas também, perguntas para verificar se as crianças compreenderam que a

atividade não consistia em alimentar o rato (produzir um resultado desejado) e sim, identificar o tamanho do rato. Como resultado do primeiro estudo, Sodian, Zaitchik e Carey afirmam que as crianças não só demonstraram uma competência considerável em escolher o teste empírico conclusivo (escolher a caixa com abertura menor) como também entenderam a lógica de se realizar inferências baseadas apenas nesse tipo de experimento.

No segundo estudo, a estória versava sobre a divergência entre dois irmãos sobre a capacidade olfativa de um suposto animal de estimação. Um acreditava que o animal era bom farejador, que podia perceber o cheiro de qualquer coisa, muito melhor que as pessoas. O outro acreditava que o animal não era bom farejador e que sua capacidade de perceber o cheiro dos objetos seria igual a do ser humano. Era perguntado às crianças o que os irmãos poderiam fazer para determinar quem estava certo. Apenas cerca de 25% das crianças elaboraram espontaneamente testes conclusivos, nos quais identificam explicitamente uma condição que permitiria o sucesso apenas de um animal que farejasse bem.

Porém, em seguida, eram apresentadas as idéias de cada irmão para a resolução do problema. Um propunha enterrar alguma comida com cheiro muito forte e o outro propunha enterrar uma comida com cheiro muito fraco. Era então solicitado às crianças que escolhessem uma das opções e justificassem o porquê da escolha. Os resultados do segundo estudo reforçam os resultados obtidos no primeiro estudo, indicando que até mesmo crianças mais novas sabem o que é um teste de hipóteses e conseguem distinguir entre experimentos conclusivos e não conclusivos para o teste de hipóteses simples, possuindo, portanto, a base para a aquisição de um conhecimento científico conceitual e procedimental mais complexo.

3.3.6 Célula F: O efeito de conhecimentos gerais sobre a avaliação de evidências

Assim como os estudos da célula C, os estudos abaixo concentram-se em determinar a habilidade dos participantes em selecionar hipóteses que são suportadas pelas evidências e dados apresentados. Diferentemente dos estudos anteriores nos quais o conhecimento prévio dos participantes impunha certos vieses e tendências para analisar as informações apresentadas, nesses estudos, os participantes não possuem conhecimentos específicos sobre os assuntos abordados, nem hipóteses preferenciais, tendo, portanto, que limitar a análise e tirar as conclusões baseando-se apenas nas evidências apresentadas.

Ruffman, Perner, Olson e Doherty (1993) realizaram uma série de três estudos para identificar a capacidade de crianças entre quatro e sete anos de idade em avaliar hipóteses

sobre a suposta causalidade de determinado fator, baseando-se em evidências de covariação. Nesses estudos, foram utilizadas atividades pouco complexas, baseadas em desenhos. No primeiro deles, apenas um fator (um determinado tipo de comida especificado pela cor) covariava perfeitamente com o resultado (queda de dentes) e todas as crianças participantes conseguiram relacionar causalmente o fator com o resultado.

No segundo estudo, foram apresentadas às crianças evidências de covariação imperfeita, ou seja, nem todas as evidências sustentavam a hipótese formada pelo personagem da estória. Ruffman e colaboradores demonstram que as crianças com seis anos ou mais, conseguem avaliar e julgar determinada hipótese, mesmo quando o padrão de evidências apresentado não é perfeito.

O terceiro estudo foi realizado para avaliar a compreensão das crianças sobre o caráter preditivo das hipóteses de causalidade estabelecidas a partir das evidências e para diferenciar dos resultados dos dois primeiros estudos, nos quais as crianças poderiam responder corretamente às questões apenas observando e descrevendo as situações, sem um entendimento das relações hipótese-evidência.

As crianças, então, analisaram as evidências sobre qual característica (material e/ou tamanho) de uma raquete de tênis produzia o saque mais eficiente. Em seguida, era solicitado que escolhessem as características de uma raquete de tênis que elas comprariam e que previssem o resultado que elas obteriam com a raquete escolhida.

Os resultados do terceiro estudo fornecem evidências de que o entendimento de crianças sobre a relação hipótese-evidência se estende além do reconhecimento da necessidade de evidências para sustentar hipóteses sobre causalidade, mas também de que a presença de determinadas evidências pode coordenar ou influenciar ações ou previsões futuras.

3.4 Pesquisas integradoras: estudos que focam aspectos multicelulares referentes ao processo de investigação

Os estudos descritos até aqui, sobre o desempenho de indivíduos durante atividades de investigação, preocuparam-se em analisar os processos cognitivos envolvidos de forma independente. As metodologias das pesquisas descritas até aqui foram desenvolvidas para isolar apenas alguns aspectos do conhecimento específico ou do conhecimento geral, ou seja, limitaram-se apenas às células individuais do quadro 3.1. Essas pesquisas, apesar das

limitações, geraram um grande volume de conhecimento e informações sobre o desenvolvimento cognitivo humano e o processo de investigação científica. Porém, esses trabalhos não identificaram um importante aspecto nesse processo de investigação: a interação entre os conhecimentos gerais e específicos. Além disso, o estudo isolado dos processos de geração de hipóteses, teste de hipóteses via experimentação e análise de evidências, nos incentiva a responder à pergunta: como esses três processos principais se influenciam e se interagem?

Nas palavras de Klahr,

> "... essa interação pode ser bastante complexa; conseqüentemente, 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).

Pesquisas para responder a essa e a muitas outras perguntas são necessárias para compreender o pensamento do indivíduo em situações e atividades nas quais seus conhecimentos específicos e gerais guiam a forma como os procedimentos experimentais são definidos e como os resultados e evidências são analisadas.

Sophian (1997) argumenta que, para caracterizar apuradamente o raciocínio dos indivíduos durante as atividades, devemos considerar não só os resultados por eles produzidos, mas também o processo de obtenção e geração desses resultados. Para ela, é necessário distinguir entre a competência e a performance do indivíduo durante a atividade, pois quando se identifica falhas na sua performance, podemos sempre associá-las a duas possibilidades: pode faltar ao indivíduo uma parte importante da competência conceitual, ou pode faltar-lhe uma competência procedimental ou funcional para traduzir seus conhecimentos em ações e procedimentos efetivos e eficientes. Porém, essas duas possibilidades convergem para uma pergunta importante: em que medida as falhas na performance do indivíduo são causadas pelas características ou dificuldades da atividade em questão ou são devidas às limitações em seu conhecimento conceitual?

Alexander e Judy (1988), baseadas numa síntese das pesquisas relevantes na área, levantam algumas hipóteses sobre a interação do conhecimento específico e do conhecimento geral, tido, por muitos, como um conhecimento estratégico e procedimental. Segundo elas:

- Um certo grau de conhecimento específico é necessário para a utilização efetiva e eficiente dos conhecimentos procedimentais. Ou seja, antes de aplicar qualquer conhecimento estratégico, o indivíduo deve possuir algum conhecimento relevante ao domínio.
- Um conhecimento específico incompleto ou inadequado sobre o domínio teórico pode inibir, interferir ou atrapalhar a aplicação de conhecimentos procedimentais, prejudicando o aprendizado.
- O conhecimento estratégico contribui para a utilização e aquisição de conhecimentos específicos.
- A utilização de estratégias não adequadas e incoerentes pode interferir no desempenho dos estudantes durante a atividade, prejudicando a aquisição de novos conhecimentos específicos.
- Á medida que o conhecimento específico do domínio aumenta, o conhecimento procedimental se modifica, principalmente a capacidade de representação e organização mental da atividade, apontados, por muitos (VanLehn, 1989; Millar, 1991), como responsável pela diferenciação do desempenho entre sujeitos novatos e experientes.
- A importância relativa exercida pelo conhecimento específico e pelo conhecimento estratégico durante a realização de uma tarefa qualquer pode ser conseqüência da natureza e da estrutura da atividade.
- Perceber a relação entre o conhecimento específico e as estratégias utilizadas durante a atividade parece definir e caracterizar um melhor desempenho. Indivíduos que procuram identificar e relacionar as principais características e a estrutura da atividade conseguem utilizar essa representação para guiá-los durante a realização da atividade.
- Fatores emocionais e sócio-contextuais interferem na aquisição e utilização de conhecimentos específicos e conhecimentos procedimentais.

Trabalhos iniciados no final da década de 80 começaram a investigar como os diferentes aspectos e processos que integram o quadro 3.1 interagem. Diversos trabalhos, a partir de então, analisaram o desempenho dos indivíduos em tarefas e problemas práticos nos quais seus conhecimentos específicos impõem certos vieses e tendências e eles passam a considerar algumas hipóteses mais plausíveis que outras. Além disso, os indivíduos eram estimulados a planejarem e executarem testes experimentais para testar suas hipóteses iniciais e analisarem as evidências e os resultados obtidos para tirarem suas conclusões.

Passaremos, agora, a revisar os principais trabalhos dessa natureza, ou seja, os trabalhos mais integradores, nos quais os participantes, crianças, estudantes, adultos e universitários realizam buscas no campo das hipóteses e no campo da experimentação, coordenadas pelo seu conhecimento prévio, assim como avaliam as evidências produzidas por testes experimentais.

3.4.1 Células A e C: A interação entre o conhecimento específico, formulação de hipóteses e avaliação de evidências.

Em trabalhos que envolvem as células A e C do quadro 3.1, as reações dos participantes são analisadas quando são levados a contrastar suas hipóteses ou teorias iniciais com informações, evidências e dados apresentados pelos pesquisadores. Nesses casos, dados controversos são propositadamente inseridos numa atividade visando provocar situações de conflito cognitivo (Posner, Strike, Hewson e Gertzog, 1982). A intenção, em geral, é fazer com que os participantes questionem suas hipóteses de trabalho ou as evidências que selecionaram para explicar a situação problema. Espera-se, com isso, garantir o envolvimento deles no exercício de resolução de conflito, questionando-se sobre o entendimento conceitual do fenômeno ou sobre a validade das evidências disponíveis.

É importante destacar que, nesses trabalhos, os participantes não têm a oportunidade de gerar evidências através da experimentação e os assuntos abordados são temas específicos, sobre os quais os participantes têm concepções fortes e familiaridades.

A presença de dados anômalos sempre foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa científica. Vários exemplos na história (Kuhn, 1978) mostram que resultados inesperados ou que resistem à explicação, quando examinados mais atentamente, podem abrir caminho para novas teorias ou descobertas. Dunbar (2000) afirma que resultados inesperados são muito freqüentes nas pesquisas científicas e recebem muita atenção por parte dos cientistas, principalmente os resultados que contradizem suas hipóteses iniciais. Ao contrário da tradicional visão confirmatória que permeia os laboratórios escolares, o desenvolvimento das atividades científicas baseia-se, muitas vezes, na análise de dados anômalos ou que resistem às explicações usuais (Borges, Borges, Silva e Gomes, 2002).

Em seu trabalho, Chinn e Brewer (1993), baseando-se numa vasta revisão bibliográfica nas áreas da história da Ciência, educação e psicologia, postulam sete reações possíveis dos estudantes quando se deparam com resultados inesperados. Em um estudo posterior (Chinn e Brewer, 1998), os mesmos autores testaram sua taxonomia com um grupo

de 168 estudantes de graduação. Os estudantes foram divididos em quatro grupos que estudaram relatos de pesquisas sobre dois temas distintos. Um dos temas abordava duas teorias sobre a extinção dos dinossauros no período Cretácio. A primeira teoria atribuía a extinção dos dinossauros à colisão de um meteoro com a Terra. A segunda teoria relacionava a extinção dos dinossauros a uma intensa erupção vulcânica. O outro tema abordava a temperatura sanguínea dos dinossauros e também recorria a duas teorias para explicá-lo. Uma defendia a homotermia e outra, a heterotermia dos dinossauros. Embora simplificados, os relatos estudados pelos participantes apresentavam as estruturas complexas de evidências em suporte de cada teoria.

Em seguida, a cada um dos grupos foram apresentados dados adicionais que contradiziam as evidências nas quais as teorias inicialmente estudadas se baseavam. A partir daí, baseados na taxonomia proposta no estudo anterior, os autores avaliaram as diversas reações dos estudantes ao conflito entre evidências disponíveis e teoria. Como resultado da análise, os autores reviram e expandiram sua taxonomia, propondo caracterizar as respostas e reações dos indivíduos segundo três dimensões: se os dados são aceitos, se os dados são explicados e se há a mudança da teoria como conseqüência dos dados anômalos. Eles concluíram, também, que a diferença nas reações dos indivíduos frente às evidências inesperadas é causada, principalmente, pela interação de quatro fatores: o conhecimento prévio do indivíduo, a existência e a plausibilidade de uma teoria alternativa, a informação ou o dado anômalo e o processo ou a estratégia de análise desse dado anômalo.

3.4.2 Células D, E e F: A interação entre o conhecimento geral e os processos de formulação de hipóteses, experimentação e avaliação das evidências

Os trabalhos de Klayman e Ha (1987, 1989) nos fornecem uma discussão teórica e rigorosa das estratégias utilizadas pelos indivíduos durante o processo de teste de hipóteses. Segundo os autores, esse processo se fundamenta em várias classes de julgamentos e consideram hipóteses como conjecturas sobre fatores que explicam, predizem, causam ou descrevem a ocorrência de algum evento ou propriedade de interesse. Portanto, a análise dos processos de formulação e teste de hipóteses, além da avaliação das evidências, é importante não apenas para se entender o pensamento humano durante investigações científicas como nas diversas ações do dia-a-dia.

Esse trabalho visa a integração das células D, E e F, uma vez que busca compreender os processos pelos quais os indivíduos formulam, testam e revisam hipóteses em diversos domínios.

Diversos trabalhos (Amsel e Brock, 1996; Koslowski, 1996; Schauble, 1996; Klahr, 2000), que analisam como os indivíduos formulam hipóteses, as estratégias que utilizam para testá-las e a forma como revisam as hipóteses iniciais frente às evidências obtidas, identificam uma grande similaridade entre as estratégias empregadas que independe da faixa etária, da escolaridade e da natureza da atividade. Dentre as estratégias mais comuns, está a tendência que os indivíduos possuem de confirmar suas hipóteses iniciais, ou seja, a de a testar casos e hipóteses que confirmem suas crenças e que o resultado esperado esteja coerente com seu conhecimento e expectativas. Koslowski apresenta uma definição bastante clara e simples do que vem a ser essa tendência em confirmar suas hipóteses iniciais:

> "a tendência à confirmação pode ser a esperança de que um teste resulte em dados confirmatórios ao invés de dados anômalos, ou pode ser o filtro que faça alguém ignorar ou distorcer determinados resultados anômalos. Pode consistir, também, em considerar hipóteses alternativas que são, de fato, hipóteses rivais não plausíveis ou hipóteses que são bastante semelhantes à original. Finalmente, a tendência à confirmação pode consistir em refinar a hipótese original baseado em dados não confirmatórios ou anômalos mesmo quando uma hipótese alternativa poderia explicar não apenas os dados já confirmados pela hipótese original como os dados anômalos obtidos. Definitivamente, uma tendência à confirmação pode existir." (Koslowski, 1996, p. 263).

Porém, para os autores, diferentes noções dessa tendência à confirmação das hipóteses têm sido identificadas na literatura, contribuindo para interpretações inadequadas tanto dos pressupostos teóricos quando dos resultados empíricos obtidos. Uma interpretação inadequada identificada é a supervalorização dos procedimentos de desconfirmar a hipótese inicial, ou seja, demonstrar que ela é incorreta e necessita ser modificada.

Klayman e Ha propõem que diversos fenômenos do processo de teste de hipóteses podem ser compreendidos em termos de uma estratégia geral chamada de testes positivos (+ testes), cuja denominação é mais adequada e sua essência ligeiramente diferente da tendência à confirmação. De acordo com essa estratégia, o indivíduo testa uma hipótese examinando exemplos nos quais a propriedade, o evento ou o resultado é esperado. Essa estratégia básica engloba uma série de estratégias e tendências que foram propostas em diversas pesquisas que envolviam atividades de diversas naturezas.

Os autores apresentam então, argumentos lógicos e estatísticos que suportam que a estratégia de implementar testes positivos é, na verdade, uma boa heurística, que pode ser aplicada em uma gama enorme de situações, incluindo atividades em que os resultados e as previsões são probabilísticas. E, sob condições normais, dependendo das características da atividade, essa estratégia pode ser adequada para determinar se uma hipótese é correta ou não. Porém, isso não quer dizer que os indivíduos que fazem uso dessa estratégia têm consciência das características da atividade que tornam a utilização dos +testes mais ou menos adequada. Isso por ela se tratar de uma estratégia de utilização geral.

A utilização da estratégia dos +testes, em maior ou menor escala, depende da característica da atividade. Quanto mais complexa a atividade for, quanto menos informações acessíveis ela possuir, mais os indivíduos recorrerão a essa estratégia como heurística para solução do problema. Mas, como qualquer estratégia geral, os +testes não são sempre adequados e podem levar a sérias dificuldades de interpretação em alguns casos.

A componente principal da análise, segundo os autores, não é defender a idéia de que os indivíduos testam melhor suas hipóteses do que foi previamente pensado, mas sim que a estratégia de se implementar +testes pode fornecer uma base para se compreender os sucessos e fracassos dos testes de hipóteses em diversos domínios. Além disso, eles defendem que o processo de teste de hipótese envolve também o processo de revisão das mesmas e que o processo de investigação depende tanto de como as hipóteses são modificadas como da forma como são testadas. Portanto, são necessárias pesquisas que levem o indivíduo a integrar esses processos durante a realização de atividades variadas.

3.4.3 Células A, C, D e F: O estudo da habilidade de coordenar hipóteses iniciais e evidências

Uma linha de pesquisa que envolve as células A, C, D e F do quadro 3.1 são os trabalhos de Kuhn e colaboradores (Kuhn, Amsel e O´Loughlin, 1988; Kuhn, 1989; 1997), que visam compreender como os indivíduos, principalmente crianças, coordenam, modificam ou reconciliam suas teorias e hipóteses iniciais com evidências e dados que são apresentados a eles. Segundo os autores, a habilidade de “coordenação entre teoria e evidência é a habilidade mais central, essencial e geral que define o pensamento científico” (Kuhn, Amsel e O’Loughlin, 1988, p. 3). Além disso, os autores defendem que o maior desenvolvimento do pensamento científico seja a diferenciação entre teoria e evidência e a elevação do seu processo de interação a um nível consciente. Uma coordenação ideal minimiza as distorções

da influência da teoria sobre a avaliação de evidências ou a influência das evidências sobre as mudanças na teoria.

Kuhn, Amsel e O´Loughlin tiveram por objetivo examinar como os participantes (jovens do ensino fundamental e médio e adultos com e sem formação superior) avaliam evidências de covariação, levando em consideração seus conhecimentos prévios. Para isso, realizaram vários estudos nos quais solicitavam aos estudantes que avaliassem informações sobre problemas simples do dia-a-dia como, por exemplo, o tipo de comida que contribui para adquirir um resfriado.

A metodologia utilizada em todos os estudos (foram realizados um total de cinco estudos) era bastante semelhante. Inicialmente, uma situação era contextualizada através de pequenos textos e explicações orais. O conhecimento prévio dos participantes era controlado através do contexto dos problemas que podia ser mais concreto e cotidiano ou mais abstrato. A situação descrevia um problema a ser resolvido, que consistia em identificar qual variável era responsável por produzir determinado resultado. Através de perguntas, o conhecimento e as hipóteses iniciais dos participantes eram identificados na forma de supostas relações causais entre as variáveis envolvidas e o resultado.

Após o levantamento das hipóteses iniciais, eram apresentadas informações e evidências na forma de desenhos ou textos, que confirmavam ou não as concepções prévias dos participantes. Em seguida, era-lhes solicitado que julgassem a suposta causalidade de todas as variáveis que compunham o problema.

As respostas dos participantes, contendo as justificativas para considerar as diversas variáveis envolvidas como causal ou não-causal, foram categorizadas em ‘baseada em teoria’ e ‘baseada em evidência’. Foram consideradas respostas ‘baseada em teoria’ aquelas nas quais o participante mencionava seus conhecimentos e desconsiderava os dados apresentados e foram consideradas respostas ‘baseada em evidência’ aquelas que mencionavam claramente o padrão de covariação entre as variáveis apresentadas.

Após serem apresentados a evidências a favor ou contra suas concepções, os participantes, geralmente, forneceram justificativas do tipo ‘baseada em teoria’ ao invés de se basearem nas evidências de covariação apresentadas. Os autores identificaram também, tendências, em todas as faixas etárias estudadas, de ignorar, distorcer ou rejeitar evidências inconsistentes com as concepções dos participantes, tendências de ajustar a teoria para se adaptar às evidências e vice-versa e, além disso, uma dificuldade maior dos participantes, em lidar com evidências que não confirmassem suas concepções prévias.

Mesmo quando solicitados a justificar suas respostas apenas a partir das evidências apresentadas, muitas crianças, e até mesmo adultos, continuavam a apresentar justificativas ‘baseadas em teoria’. Como resultados de sua pesquisa, Kuhn e colaboradores afirmam que os participantes, sobretudo crianças, apresentam uma grande dificuldade em coordenar e diferenciar teoria e evidência, apresentando, portanto, falhas no seu pensamento científico.

Porém, o trabalho realizado por Kuhn, Amsel e O’Loughlin (1988) tem sido criticado por diversos pesquisadores, tanto por questões teóricas quanto metodológicas. Questionando a metodologia adotada por Kuhn e colaboradores, outros trabalhos (Sodian, Zaitchik e Carey, 1991; Ruffman, Perner, Olson e Doherty, 1993) defendem que em atividades mais simples do que as adotadas por Kuhn, Amsel e O’Loughlin, crianças novas conseguem interpretar corretamente evidências apresentadas e as consideram, independentemente do seu conhecimento prévio. Os motivos apontados pelos pesquisadores seria a forma de apresentação das evidências e a quantidade de variáveis consideradas.

Teoricamente, o trabalho de Kuhn e colaboradores tem sido criticado por considerar que hipóteses sobre causalidade entre variáveis devem ser avaliadas exclusivamente a partir das evidências apresentadas, não considerando o conhecimento do indivíduo sobre o domínio teórico da atividade.

Koslowski (1996) critica a ênfase das pesquisas baseadas na apresentação de covariações em contextos pouco científicos e nos quais os conhecimentos prévios dos indivíduos são reduzidos. Para ela, essas pesquisas continuam tendo um caráter empiricista, contribuindo para apresentar um quadro incompleto e destorcido das habilidades cognitivas dos indivíduos durante o processo de investigação ao não reconhecer o importante papel que outros fatores têm para a construção do conhecimento. Essa posição acerca da Ciência, que defende a caracterização dos processos científicos independente de contexto, foi extensamente criticada por autores que contestam a suposta objetividade e neutralidade científica e defendem que todo o processo de investigação científica está impregnado de teoria (Hanson, 1975; Kuhn, 1978).

Koslowski argumenta ainda que o conhecimento conceitual pertinente ao contexto é um fator importante para estruturar e resolver problemas práticos, defendendo, assim, 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, de forma cuidadosa e racional, seus conhecimentos prévios quando avalia evidências e resultados experimentais.

Koslowski, além de contestar e reinterpretar os resultados obtidos por Kuhn, Amsel e O´Loughlin (1988), apresenta uma série de dezesseis estudos que suportam sua tese sobre a interdependência da teoria e evidência de uma maneira legitimamente científica. Na maioria desses casos, ela demonstra que participantes da pesquisa (crianças, jovens e adultos), assim como os cientistas o fazem, levam em consideração as relações que são entendidas como causais, quando avaliam evidências em relação a hipóteses sobre relações causais. Portanto, a extensão na qual determinado fator é considerado causal depende, entre outras coisas, das informações e conhecimentos que suportam determinadas explicações[6] para o fenômeno. Ou seja, o conhecimento prévio do individuo também é tratado como evidência.

Zimmerman (2000) argumenta que devido às discrepâncias entre os resultados apresentados por Kuhn, Amsel e O´Loughlin (1988) e Koslowski (1996), o quadro sobre o desenvolvimento da habilidade de avaliação de evidências está, de certa forma, pouco claro. Por isso, afirma ser necessário investigar, de forma integrada, a coordenação entre teoria e as habilidades de avaliação de evidência e experimentação. Isso decorre do fato de que, nesses trabalhos as evidências experimentais já estavam prontas e eram apresentadas de forma seqüenciada e adequada aos participantes. Porém, segundo o modelo SDDS desenvolvido por Klahr e Dunbar (1988), a experimentação é um processo fundamental no processo de investigação e influencia, de forma decisiva, tanto no processo de formulação e revisão de hipóteses, quanto no processo de avaliação de evidências, não podendo, portanto, ser desconsiderado.

3.5 Trabalhos sobre o processo de descoberta científica: estudos que focam a interação entre todos os conhecimentos e habilidades referentes ao processo de investigação

Em seu trabalho, Penner e Klahr (1996) investigam como o conhecimento específico de crianças sobre o afundamento dos corpos interage com os processos cognitivos utilizados por elas durante uma atividade investigativa que visava determinar quais os fatores influenciavam na velocidade com que diversos objetos afundavam em água.

---

[6] Veremos que Koslowski (1996) utiliza o termo mecanismo para se referir ao conhecimento do indivíduo sobre as relações causais que envolvem determinado fenômeno. Como introduziremos o conceito de mecanismo mais tarde, restringimos aqui, propositadamente, a utilização do termo.

Indivíduos, de uma forma geral, possuem certo conhecimento intuitivo sobre o domínio teórico escolhido, fruto do cotidiano. Porém, o conhecimento físico adequado para analisar o problema de afundamento dos corpos não é simples, pois envolve questões como atrito viscoso, empuxo, etc. Além disso, devido a alguns fatores estarem correlacionados, como, por exemplo, o tamanho do objeto, sua densidade e seu peso, o processo de isolar e controlar as variáveis torna-se mais complicado, dificultando a realização de testes adequados e consistentes.

O trabalho consistiu em entrevistas estruturadas que foram divididas em quatro fases. Participaram, ao todo, trinta crianças com idades entre 9 e 15 anos, que trabalharam individualmente em todas as fases. Na fase inicial, as crianças responderam a perguntas sobre porque objetos afundam na água e que fatores (forma, tamanho e tipo do material) eram relevantes para determinar a velocidade de afundamento dos objetos.

Na segunda fase, eram apresentados às crianças oito objetos distintos, formados pela combinação dos fatores acima citados, que assumiam dois valores distintos. Também eram apresentados todos os 28 pares possíveis, formados pelos oito objetos e, para cada par, a criança era solicitada a indicar qual dos objetos afundaria mais rapidamente e justificar sua escolha.

A terceira fase foi a fase da experimentação, na qual as crianças escolhiam um ou dois objetos para mergulhar na água. Antes de executar esse procedimento, as crianças deveriam prever qual objeto chegaria ao fundo primeiro e como o experimento lhe ajudaria a resolver o problema. Cada criança deveria realizar pelo menos quatro experimentos e, ao final, era perguntada sobre a certeza da importância dos fatores para o afundamento em água.

Na fase final, os participantes responderam sobre quais fatores (forma, tamanho ou tipo do material) eram relevantes para a solução do problema proposto. Além disso, os participantes eram solicitados a descrever as características do objeto ‘ideal’, ou seja, o que afundaria mais rapidamente.

Penner e Klahr perceberam que as crianças não demonstraram dificuldade em entender o problema proposto. Porém, poucas crianças realizaram mais do que os quatro experimentos solicitados, mesmo sendo livres para realizá-los e mesmo tendo sido apresentados todos os 28 pares possíveis. Ou seja, os participantes obtiveram bem menos informação da fase de experimentação do que era possível. Mesmo assim, todos os participantes da pesquisa aprenderam, através da experimentação, sobre a influência das outras variáveis que compunham o problema, pois a maioria acreditava que apenas a massa do objeto era relevante.

Os autores concluíram que o conhecimento prévio dos indivíduos influencia no objetivo inicial do processo de experimentação e que as crianças mais velhas têm uma tendência maior a ver o processo de experimentação como forma de testar hipóteses e de utilizar mais freqüentemente testes adequados e consistentes. Já as crianças mais novas, realizam experimentos sem uma hipótese definida ou como uma forma de confirmar seus conhecimentos.

Outro aspecto interessante do trabalho de Penner e Klahr (1996) é a discussão sobre os resultados anômalos obtidos pelas crianças. Segundo os autores, para os indivíduos analisem resultados anômalos, três condições devem ser satisfeitas: o indivíduo deve perceber que alguma coisa inesperada aconteceu, deve perceber que sua hipótese ou seu conhecimento inicial não é capaz de explicar o resultado inesperado e deve estipular um novo objetivo de investigar possíveis explicações para esse resultado. Assim, das oito crianças que obtiveram resultados inesperados, apenas uma percebeu a importância de explorar mais detalhadamente o resultado obtido.[7]

Schauble (1990) procura descrever as mudanças no conhecimento, no raciocínio e nas estratégias de crianças quando estas trabalham com atividades investigativas ao longo de um período extenso de tempo. Seu objetivo maior é o de observar as estratégias que crianças utilizam para gerar e analisar as evidências obtidas, procurando identificar situações nas quais o conhecimento prévio da criança poderia influenciar nesses processos.

Participaram do estudo 22 crianças entre 8 e 12 anos que exploraram uma atividade investigativa, implementada através de uma simulação computacional, sobre corrida de carros. Ao longo de oito sessões semanais (30-45 minutos cada sessão), as crianças buscavam determinar quais os fatores afetavam a velocidade de um carro de corrida. Havia cinco variáveis envolvidas no problema e cada uma delas assumia apenas dois valores. Três delas (motor, pneus e aerofólio) tinham influência sobre a velocidade do carro. As variáveis motor e aerofólio tinham uma interação entre elas. O tamanho do pneu, única variável que assumia três valores distintos, possuía uma relação não-linear com a velocidade. A duas outras variáveis envolvidas (cor e silenciador) eram não-causais.

Antes da primeira sessão, as crianças foram apresentadas ao programa e submetidas a uma pequena entrevista inicial, na qual expuseram seus conhecimentos prévios sobre o

[7] Para uma análise detalhada de como estudantes reconhecem e enfrentam resultados inesperados veja Borges, Borges, Silva e Gomes (2002).

assunto, indicando e justificando quais variáveis elas julgavam causais e que tinham influencia na velocidade dos carros de corrida.

Durante o processo de experimentação, as crianças definiam as características dos carros e os colocavam para correr. Elas poderiam colocar até três carros simultaneamente. A cada experimento realizado, as crianças deveriam explicar porque definiram os carros daquela maneira, fornecer justificativas e efetuar julgamentos baseados nos resultados obtidos. Ao final de cada sessão, as crianças eram novamente perguntadas sobre a influência das cinco variáveis envolvidas no problema.

As crianças raramente fizeram uso de anotações para registrar os passos tomados ou os resultados parciais de cada experimento, recorrendo à sua memória durante as oito semanas. Cada criança executou uma média de 23 experimentos. Das 48 combinações entre as variáveis possíveis, as crianças utilizaram, em média, apenas 52,8% das combinações, além de utilizarem, com certa freqüência, configurações de carros já utilizadas, o que caracteriza uma investigação aleatória e pouco sistemática.

Schauble, após analisar os dados e as informações obtidas em seu estudo segundo quatro aspectos (o planejamento, as justificativas, as comparações experimentais e os julgamentos realizados), conclui que as crianças, apesar de terem adquirido um maior conhecimento sobre o domínio estudado, falharam muitas vezes ao realizar testes adequados e consistentes e ao fazer julgamentos sobre os resultados. Mas, crianças que empregaram estratégias mais adequadas de investigação apresentaram uma compreensão melhor da atividade, chegando a identificar a interação entre as variáveis. De forma geral, as estratégias utilizadas pelas crianças evoluíram ao longo da atividade, mas heurísticas como a tendência a confirmar os conhecimentos e a maior preocupação com as variáveis tidas como causais, exploradas em trabalhos anteriores (Klayman e Ha, 1987) também foram identificadas entre as crianças participantes. Isso prejudicou o desenvolvimento de uma estratégia experimental mais adequada, a avaliação dos resultados obtidos e a revisão das concepções prévias de parte das crianças participantes.

David Klahr e colaboradores realizam um extenso trabalho (Klahr, 2000) com o objetivo de observar indivíduos de diferentes idades engajados em investigações semelhantes ao processo de descoberta científica. Para tanto, desenvolveram contextos complexos (baseados em ambientes computadorizados e utilização de robôs), nos quais os participantes deveriam, através da formulação de hipóteses, experimentação e análise das evidências obtidas, resolver os diversos problemas propostos. Além disso, a maioria dos problemas

desafiavam as habilidades dos participantes de produzir experimentos informativos e de relacionar os resultados desses experimentos com suas hipóteses originais.

Durante a apresentação dos nove estudos que compõem o livro, os autores expõem de forma rigorosa e bastante estruturada, as estratégias e procedimentos utilizados pelos participantes da pesquisa durante a atividade investigativa. A metodologia de análise utilizada privilegiou o processo de investigação dos participantes em detrimento dos resultados por eles obtidos, com o objetivo de responder três questões fundamentais e relacionadas: (i) o que é o pensamento científico? (ii) como ele pode ser estudado? (iii) como ele se desenvolve?

Para responder à primeira pergunta, os autores utilizam como referencial teórico o modelo SDDS, dedicando um capítulo do livro para descrevê-lo em detalhes, apresentando suas principais características, possibilidades de aplicação e limitações. Além disso, como resultado da análise do nono estudo, propõem alternativas para modificar e expandir o modelo proposto.

A metodologia escolhida por Klahr e colaboradores para investigar os processos cognitivos envolvidos durante a atividade científica foi a criação de ambientes complexos de investigação através de programas de computador e robôs. O procedimento padrão da maioria dos estudos consistiu em analisar o desempenho dos participantes durante a solução das diversas situações-problema criadas pelos autores. Para resolver os problemas propostos, os participantes deveriam configurar o sistema de diversas maneiras e observar o seu comportamento. A regra a ser descoberta, a função específica de uma determinada tecla ou de uma tecla misteriosa, é um problema para o qual os participantes tendem a considerar algumas hipóteses mais plausíveis que outras, o que afeta suas decisões.

Os participantes da pesquisa foram instruídos e treinados para ‘pensarem alto’, ou seja, para verbalizarem suas atitudes e pensamentos durante toda a atividade. O processo de investigação de cada participante foi gravado, assim como as configurações feitas nos sistemas. Isso permitiu aos autores identificar os objetivos, as hipóteses, os experimentos e a avaliação de cada participante ao longo da atividade.

Ao responder à terceira pergunta, o trabalho de Klahr e colaborados contribui para alimentar uma discussão perene nos trabalhos sobre a cognição humana, ou seja, as semelhanças e diferenças entre as formas de pensar de crianças, adultos e cientistas (Schauble, 1996), debate que ficou conhecido pela metáfora “crianças como cientistas”[8].

[8] Expressão traduzida da expressão original em inglês *children as scientist*.

Para Kuhn (1989), crianças, adultos e cientistas apresentam uma forma de raciocínio e habilidades relativas ao processo de investigação bastante distintos, principalmente com relação à compreensão do papel complementar entre teoria e evidência e à capacidade de coordená-las de forma lógica e racional. Porém, Klahr (2000) e outros pesquisadores (veja, por exemplo, Koslowski, 1996) defendem que os processos cognitivos que crianças, adultos e cientistas utilizam durante as mais diversas atividades, sejam elas do dia-a-dia ou científicas, são de mesma natureza e citam as condições e características que as atividades devem possuir para que as crianças tenham um desempenho semelhante aos adultos.

3.6 Estratégias e implementação de testes experimentais adequados e consistentes

Apesar de haver um consenso sobre a inexistência do chamado 'método científico' padronizado e bem estabelecido, espécie de algoritmo a guiar a investigação científica, os pesquisadores em Educação em Ciências e em Filosofia da Ciência, em geral, concordam que há uma série de características e atitudes comuns entre as atividades de diversas áreas. Porém, a existência de tais atitudes frente à investigação não exclui também as particularidades que determinam procedimentos específicos da metodologia científica, ajustados conforme a natureza e o objetivo da atividade.

A partir da revisão da literatura realizada até aqui podemos perceber que, dentre as habilidades básicas que perpassam todo o processo de formulação, de teste e revisão de hipóteses que, na nossa opinião, todo estudante deve desenvolver, destaca-se a implementação de testes experimentais adequados e consistentes. Apenas com uma estratégia eficiente de controle e a sistemática combinação entre as diversas variáveis envolvidas na solução do problema prático é que se pode obter dados confiáveis e colocar-se em posição de analisar os resultados obtidos.

Argumentando sobre a importância da aquisição da habilidade de controlar variáveis, Chen e Klahr afirmam que

> "sua aquisição é um importante passo no desenvolvimento das habilidades referentes ao pensamento científico pois sua devida utilização fornece uma forte limitação na busca no campo dos experimentos." (Chen e Klahr, 1999, p. 1098).

Sendo assim, é necessário aprofundar a discussão das estratégias para utilização de testes experimentais adequados e consistentes e destacar sua importância para o processo de

investigação e a sua interdependência com o conhecimento conceitual e procedimental do indivíduo.

Porém, antes de iniciarmos a discussão sobre as estratégias de implementação de testes adequados e consistentes que os indivíduos empregam durante uma atividade investigativa, é necessário uma definição de estratégia. Neste trabalho, utilizamos o termo estratégia para designar uma série qualquer de procedimentos que sejam espontâneos e orientados para um objetivo (Roberts e Newton, 2001).

Assim, estratégias são procedimentos orientados por objetivos que são intencionalmente utilizados antes, durante ou depois da realização da atividade. Segundo Alexander e Judy (1988), estratégias são uma forma especial de conhecimento procedimental que pode existir em vários níveis de generalidade ou separação dos domínios específicos. Além disso, o poder de uma determinada estratégia é determinada pela natureza da atividade. Assim, uma estratégia que mostra-se eficiente em um tipo de atividade ou domínio teórico, pode não ser tão eficiente em outros domínios. Por exemplo, uma boa estratégia de se iniciar um problema de mecânica é identificar as diversas forças que atuam nos corpos envolvidos. Quando isso é feito de forma adequada, a resolução do problema torna-se bem mais fácil. Porém, apesar dessa estratégia ser útil nos problemas de mecânica, ela não possui utilidade nenhuma em outros campos da Física, como na termodinâmica.

A definição de estratégia pode variar de acordo com a atividade mas, de uma forma geral, pode ser vista como um conjunto de processos cognitivos que podem ser estimulados, modificados e sofisticados. Cada indivíduo dispõe, para utilização, de um repertório limitado de estratégias, cuja riqueza e diversidade dependem da história e experiências de aprendizagem já vividas.

Baseados numa vasta revisão bibliográfica, Roberts e Newton (2001) fazem uma ampla discussão, visando um maior entendimento sobre o porquê de diferenças nas estratégias de indivíduos na resolução de problemas, mesmo nos casos mais simples. Eles observam que tais diferenças são devidas às diferenças pessoais e que poucas pessoas são ‘versáteis’ ou seja, são capazes de mudar de estratégias com relativo sucesso. A maioria das pessoas tem uma clara estratégia dominante e são bastante relutantes na mudança de tal estratégia.

De uma forma geral, indivíduos que possuem estratégias mais adequadas para resolução de determinado problema têm uma capacidade maior de representar e anotar os dados, além de um maior conhecimento sobre o assunto em estudo. Foi observado também que as estratégias desenvolvem-se e modificam-se lentamente ao longo da resolução do

problema (Schauble, 1990; 1996), indicando que o indivíduo não possui apenas uma forma de pensar sobre uma determinada classe de problemas.

> "...indivíduos caracteristicamente, utilizam estratégias válidas recém adquiridas com estratégias inválidas mais antigas que já possuem. Mudanças portanto, ocorrem não como uma transformação repentina, mas, ao contrário, com um aumento progressivo da proporção de utilização das novas estratégias adquiridas." (Schauble, 1996, p. 5).

A utilização de diferentes estratégias durante a realização de uma atividade dá ao indivíduo a oportunidade de selecionar a mais adequada para a resolução daquela determinada tarefa. Essa observação é importante, pois nos revela que a mudança da estratégia não é repentina, estratégias adequadas e inadequadas podem coexistir ao longo das atividades (Siegler, 1999). O desenvolvimento do indivíduo, segundo muitos pesquisadores (Sophian, 1997), ocorre justamente na mudança do modo como o indivíduo seleciona determinada estratégia para a utilização e de como novas são adquiridas. Além disso, o quanto essas estratégias são desenvolvidas e generalizadas entre os diversos contextos e domínios depende da experiência do indivíduo e das oportunidades de praticá-las.

Assim, quando indivíduos desenvolvem atividades livremente, eles geralmente tendem a escolher alguma estratégia que já possuem e que já foi utilizada em situações semelhantes. Em nossa pesquisa, focamos nossa atenção justamente nessas estratégias naturais dos alunos, pois não foi dada a eles nenhuma instrução ou dica para avaliar e executar as atividades propostas.

Um teste experimental adequado e consistente 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 são mantidas inalteradas.

A definição de teste adequado e consistente apresentada acima é, na maioria das vezes, a mais adequada. Se o indivíduo a domina, ele deve ser capaz de planejar testes experimentais nos quais apenas a variável em foco, 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 do uso de estratégias de controle de variáveis inadequadas, 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 variedade 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).

O debate sobre a questão da existência de funções mentais gerais transferíveis e da generalidade ou não da habilidade de implementar testes adequados e consistentes e de outras habilidades cognitivas mais complexas ou elevadas, ainda é um tema atual de pesquisa na área de educação e cognição. É importante salientar que o motivo do debate localiza-se sobre o que é transferido e como se dá essa transferência, mas não sobre o fenômeno da transferência. A transferência ocorre quando o indivíduo utiliza uma habilidade ou estratégia adquirida num contexto em um outro contexto diferente do original. Um dos principais objetivos da educação, em todos os níveis, é a promoção efetiva da capacidade de transferência dessas habilidades e estratégias, ou seja, a educação visa preparar o indivíduo para enfrentar situações novas, diferentes daquelas previamente estudadas.

A habilidade de implementar testes adequados e consistentes é, geralmente, entendida como sendo uma habilidade cognitiva geral, portanto, transferível entre contextos (Lawson, 1982; Baron e Sternberg, 1987; Chen, e Klahr, 1999). No entanto, muitos educadores (Novak, 1977; Schauble, 1996) ainda são céticos com relação à natureza e à possibilidade de

transferência dessa e de outras habilidades para outros domínios ou situações, sobretudo em situações muito distintas àquelas do contexto da aprendizagem. Segundo eles, os indivíduos, sobretudo crianças, mesmo quando instruídos de forma adequada, tendem a encontrar mais dificuldades em relacionar aspectos envolvidos no controle de variáveis em diferentes contextos.

Sendo assim, há uma certa concordância de que a transferência da habilidades de controlar variáveis e das demais habilidades cognitivas do indivíduo para situações, em outros domínios, pode ser bastante difícil. Mas a transferência entre situações semelhantes, do mesmo domínio e contexto é, no entanto, bastante comum. Se um mínimo de transferência dessas habilidades cognitivas e funções mentais não fosse possível, a tarefa da escola de ensinar conteúdos específicos seria quase impossível.

Millar (1991) não considera a habilidade de controlar variáveis como uma habilidade cognitiva. Para ele, a implementação do controle de variáveis, juntamente com diversas destrezas práticas, como representar os dados em tabelas ou gráficos, repetir medidas, calcular a média dos valores ou identificar variáveis são táticas de investigação ou ferramentas que podem ser ensinadas e empregadas em uma gama enorme de atividades.

Independentemente da questão sobre a generalidade e transferência da habilidade de executar testes adequados e consistentes, os trabalhos sobre as habilidades relativas à pesquisa científica que abordam como e porquê estudantes utilizam determinadas estratégias de controle de variáveis enfatizam que a escolha de determinada estratégia é influenciada, principalmente, por quatro aspectos básicos, que serão abordados a seguir.

3.6.1 O objetivo da atividade

Alguns trabalhos sugerem que o entendimento dos estudantes sobre os objetivos das atividades pode afetar na escolha da estratégia de controle de variáveis adotada. Em seu trabalho, Schauble, Klopfer e Raghavan (1991) estimularam crianças americanas de 9 a 13 anos, a trabalharem de dois modos distintos, que eles definiram como “modelo científico” e “modelo de engenharia” de investigação. O quadro 3.2 apresenta as principais características de cada modelo.

Para essa pesquisa foram desenvolvidas duas atividades bastante distintas. A primeira, chamada de “atividade do canal” e a outra, “atividade da mola”. Para a “atividade do canal” foi construído um modelo em escala de canal de navegação, no qual podia-se variar a

profundidade do canal. Os barcos utilizados eram representados por formas geométricas que podiam variar de massa, forma e tamanho. Para a "atividade da mola", utilizou-se uma mola presa a um suporte, corpos de massas e volumes diferentes e um recipiente transparente, no qual os corpos ficavam suspensos pela mola, porém submersos em água.

Quadro 3.2 – Características dos modelos engenheiro e científico.

	Modelo de engenharia	**Modelo científico**
Objetivo	Obter um determinado resultado	Compreender a relação entre causas e efeitos
Estratégia/ procedimento	Comparar situações contrastantes	Estabelecer o efeito de cada variável
Inferências	Ênfase na inclusão ou inferências causais	Ênfase na exclusão ou inferências de indeterminação
Pesquisa	Foco nas variáveis julgadas responsáveis pelo resultado	Teste de todas as combinações, se possível
Regra de parada	Quando o resultado desejado for obtido	Quando o teste sistemático de cada variável for feito

Para estimular as crianças a adotarem apenas um modo de trabalho, os autores induziram, através de textos explicativos, cada criança a trabalhar seguindo apenas um modelo. Metade das crianças trabalhou segundo o modelo de engenharia e a outra metade segundo o modelo científico. Todas as crianças trabalharam com duas atividades.

Como a "atividade do canal" trata-se de uma atividade não-escolar, esperava-se que os estudantes procurassem descrever as características de um barco que lhe permitiria atravessar um canal com maior velocidade. Ou seja, a estrutura da atividade era consistente com o objetivo de tentar produzir um resultado desejado (maior velocidade para o barco). Já a "atividade da mola", é uma atividade tradicional, familiar às crianças. Esperava-se portanto, que a investigação fosse mais cuidadosa, determinando quais variáveis influenciavam na distensão da mola.

Apesar das diferenças entre as atividades, quando os alunos trabalhavam como se fossem cientistas, podia-se perceber que sua orientação era a de determinar quais os fatores influenciavam ou não em cada atividade. Dessa forma, as crianças trabalharam de forma mais sistemática, estabelecendo o efeito de cada variável sobre o sistema. Quando os alunos trabalharam como se fossem engenheiros, as crianças escolhiam combinações contrastantes e

concentravam-se em fatores que eles acreditavam serem causais, enquanto ignoravam fatores julgados não-causais, mesmo equivocadamente, buscando sempre a otimização do resultado.

Normalmente, os alunos utilizaram uma estratégia de tentativa e erro enquanto atuavam como engenheiros, e fizeram uma pesquisa mais cuidadosa e sistemática quando atuaram como cientistas. Esse resultado nos indica que as estratégias de controle de variáveis apresentadas pelos alunos estão intimamente relacionadas com o objetivo da atividade e que devemos, então, ter uma preocupação maior de fazer com que os alunos entendam não só o conteúdo, mas também os objetivos das atividades desenvolvidas.

Porém, a dificuldade de entender os objetivos das atividades práticas não é apenas dos alunos. Sá e Borges (2001) argumentam que há uma 'degradação' no entendimento dos objetivos originalmente atribuídos à determinada atividade por seus autores. Eles constataram que tanto alunos quanto professores, principalmente os menos experientes, não conseguem entender claramente os objetivos da atividade ao fazer a leitura do roteiro.

Em seu trabalho, Borges (1997; 2002) afirma que raramente ocorre o planejamento sistemático das atividades práticas, com a explicitação e a discussão dos objetivos de tal ensino. Portanto, professores e alunos trabalham, na maioria das vezes, com os objetivos pedagógicos pouco claros e implícitos. Hart et al. (2000) diferenciam entre os propósitos e os objetivos de uma atividade prática. Segundo eles, os primeiros são os propósitos pedagógicos estabelecidos pelo professor, ou seja, a razão pela qual determinada atividade está sendo realizada, o modo como ela está organizada e quais os resultados educacionais a atividade deve produzir para o aprendizado dos estudantes. Já os objetivos, referem-se aos enunciados mencionados para os estudantes, presentes nas folhas de atividades, ou seja, os objetivos são, normalmente, um tópico específico de conteúdo, como, por exemplo, obter a relação entre tensão e corrente para condutores ôhmicos. Porém, o grande problema, ainda segundo os autores, é que os alunos reconhecem, na maioria das vezes, apenas os objetivos imediatos da atividade, não criando ou estabelecendo ligações entre as atividades realizadas, nem entre os aprendizados por elas gerados.

3.6.2 Os resultados finais ou parciais dos experimentos

Tschirgi (1980) pesquisou a diferença no desempenho de crianças e adultos na manipulação de variáveis para a produção de testes adequados e consistentes para a resolução

de problemas do cotidiano. Participaram da pesquisa, três grupos de crianças com idades entre sete e doze anos, e um grupo de universitários adultos. Para a pesquisa, foram desenvolvidas oito estórias diferentes, que apresentavam situações do dia-a-dia familiares às crianças, como confeitar um bolo ou fazer um avião de papel. As estórias seguiam todas o mesmo formato. Inicialmente, eram apresentadas situações com duas ou três variáveis a um personagem, seguida de um resultado, que podia ser positivo (um avião que voasse bem ou um bolo gostoso) ou negativo. O personagem então, formulava uma hipótese sobre qual variável era a responsável pela produção do resultado. Em seguida, eram apresentadas aos participantes três opções de resposta e era solicitado a eles que marcassem a opção mais adequada para que o personagem pudesse provar que sua hipótese estava correta.

A primeira opção de resposta era a padrão, que Tschirgi definiu como VOTAT[9] (variar apenas um parâmetro por vez), na qual sugeria ao personagem que modificasse apenas a variável que ele acreditava ser responsável pelo resultado. A segunda opção de resposta era uma estratégia denominada HOTAT (manter apenas um parâmetro constante por vez), que sugeria ao personagem que modificasse as demais variáveis, mantendo a variável que ele supunha responsável pelo resultado constante. A terceira opção de resposta era a CA (modificar todos parâmetros), na qual sugeria ao personagem que modificasse todas as variáveis envolvidas.

Tschirgi pode concluir que, em situações familiares, a natureza do resultado obtido influencia na escolha de estratégias para gerar novos experimentos. Em todas as faixas etárias estudadas, quando a estória reportava um resultado negativo, os participantes utilizavam a estratégia usual, VOTAT, na tentativa de produzir evidências desconfirmatórias. Ou seja, quando encontram resultados negativos, pessoas tendem a modificar a variável que acreditam estar provocando tal resultado e manter as demais até encontrar a variável responsável pelo resultado negativo e transformá-lo em um bom resultado. Ao contrário, quando havia um resultado positivo, os participantes procuraram evidências confirmatórias. Isto é, para tal resultado, usaram a estratégia HOTAT. Ou seja, quando encontram resultados positivos, pessoas tendem a manter a variável que acreditam ser importante e variam as demais para que o resultado bom se mantenha.

Entretanto, Tschirgi conclui que crianças mais novas são menos capazes de distinguir que a estratégia de VOTAT seria mais apropriada, por não perceberem a importância de variar

[9] Mantivemos a abreviatura originais das siglas do inglês: VOTAT (*vary-one-thing-at-a-time*); HOTAT (*hold-on-thing-at-a-time*) e CA *(change-all*).

apenas uma variável por vez. Além disso, adultos e crianças mais velhas, apesar de estarem cientes de que a estratégia de VOTAT é mais apropriada, muitas vezes, não analisam a estrutura formal de manipulação de variáveis, mas baseiam a escolha da estratégia em argumentos empíricos (dependentes dos resultados), e não apenas em argumentos lógicos.

3.6.3 O modelo de causalidade entre as variáveis envolvidas

A realização de uma atividade investigativa tem como objetivo principal, na maioria das vezes, a identificação de causas e efeitos. Os contextos de uma investigação contém, normalmente, muitas variáveis e resumem-se em identificar qual variável ou variáveis são responsáveis por determinado resultado ou como a mudança no valor de uma variável afeta o sistema como um todo. No seu trabalho, Kuhn, Black, Kaselman e Kaplan (2000) levantam a hipótese de que os indivíduos possuem um modelo mental inadequado de causalidade 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.

Para se trabalhar com sistemas com diversas variáveis, além de uma boa compreensão da atividade, é preciso que os indivíduos desenvolvam 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, segundo eles, é um pré-requisito fundamental para uma escolha consistente da estratégia de investigação. “Um indivíduo que possui tal modelo mental pode entender muito sobre um sistema e, em muitos casos, até mesmo prever resultados corretamente...” (Kuhn, Black, Kaselman e Kaplan, 2000, p.498). Por outro lado, quando esse modelo de causalidade é incompleto ou inadequado, o processo de investigação pode ser improdutivo, levando o indivíduo à frustração.

Os autores estudaram o comportamento de estudantes entre 13 e 15 anos ao trabalharem durante várias sessões com um programa de computador que suportava um ambiente de investigação. Apesar de verificarem uma melhoria significativa nas estratégias de controle de variáveis e na produção de inferências válidas ao longo das atividades investigativas de muitos alunos, perceberam que alguns ainda escolhiam estratégias inapropriadas ao final do período de treinamento.

Segundo os autores, é necessário desenvolver certos processos metacognitivos, ou seja, despertar a atenção de porque determinada estratégia foi escolhida e outras não, e monitorar a sua aplicação e os resultados obtidos. Porém, a regulação desses processos

metacognitivos necessita de um modelo adequado e operacional de causalidade entre as variáveis envolvidas. A implementação e utilização de um teste adequado e consistente, por exemplo, que tem o propósito de determinar o efeito individual de uma variável não vai ser compreendida e valorizada a menos que o indivíduo tenha a consciência de que o resultado obtido é uma combinação de efeitos das variáveis envolvidas. Sem esse real entendimento, pode-se ensinar a implementação de testes adequados e consistentes, pois sua operacionalização é bastante simples (variar apenas um fator e manter os demais fatores constantes). Porém, a lógica da sua implementação e o porquê de sua utilização não serão compreendidos.

Assim, a idéia de que os estudantes fazem uso de diferentes modelos para representar a causalidade entre as variáveis envolvidas no problema pode explicar a diversidade de estratégias de investigação adotadas e contribuir para um maior entendimento sobre essa diversidade e a influência das diferenças pessoais na sua seleção. Além disso, pode explicar a observada falta de progresso na sofisticação das estratégias de experimentação.

3.6.4 O conhecimento do domínio teórico da atividade

Estudos recentes (Klahr e Dunbar, 1988; Klahr, Fay e Dunbar, 1993; Schauble, 1996) indicam que há uma grande relação entre as estratégias que os indivíduos utilizam para realizar as atividades e as hipóteses que formulam, baseadas no conhecimento e teorias mobilizadas naquelas situações. A importância dada à relação entre o conhecimento prévio dos indivíduos e a atividade científica é demonstrada pelo modelo SDDS desenvolvido por Klahr e Dunbar, anteriormente discutido.

As diferentes estratégias adotadas por indivíduos durante o processo científico também podem ser explicadas pelo modelo SDDS. Segundo Klahr e Dunbar, essas diferenças podem ser explicadas pela variação na articulação das buscas nos dois campos. Podemos então, diferenciar dois tipos de indivíduos segundo suas estratégias: o ‘teórico’ e o ‘experimental’.

O ‘indivíduo experimental’ foca sua atenção no espaço dos experimentos sem ter hipóteses claramente definidas e, se as têm, não guia sua ação por elas. Ele busca por informações no experimento que lhe possibilitem obter as evidências almejadas. Por outro lado, o ‘indivíduo teórico’ foca sua atenção no espaço das hipóteses, mesmo sem ter uma hipótese clara e razoável, e utiliza a experimentação como forma de compreendê-las e avaliá-las.

Os trabalhos sobre as habilidades relativas ao processo de investigação conduzida por estudantes (Klahr, Fay e Dunbar,1993; Schauble, Klopfer e Raghavan, 1991) sugerem que as estratégias utilizadas durante uma atividade experimental refletem os diferentes níveis de compreensão, tanto conceitual quanto procedimental, e que o conhecimento prévio afeta de forma decisiva essas estratégias, tendo um forte impacto sobre o teste de hipóteses (experimentação) e sobre a interpretação dos resultados.

Os resultados também revelam uma tendência dos indivíduos em geral, e estudantes em particular, de verem a experimentação apenas como forma de comprovarem seus conhecimentos e suas hipóteses iniciais. Isso explica porque, muitas vezes, eles desconsideram os resultados obtidos para manterem firmes suas convicções. Além disso, indivíduos têm a tendência de focar mais sua atenção em variáveis que julgam previamente causais do que aquelas avaliadas como não-causais.

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

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 da habilidade de desenvolver mecanismos de causalidade plausíveis que devem ser consistentes com as evidências observadas.

Para Schauble,

> “indivíduos tendem a desenvolver mecanismos e modelos que expliquem os fenômenos que eles observam; os fenômenos observados têm um importante papel nos tipos de mecanismos que são utilizados, e os mecanismos, por sua vez, determinam a forma como os dados são analisados e interpretados.” (Schauble, 1996, p.117).

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

Em seu trabalho Borges, Borges e Vaz (2001) examinam as maneiras pelas quais os estudantes do 3º ano do ensino médio avaliam que fatores são importantes para determinar os resultados de duas investigações (envolvendo problemas diferentes) e como definem estratégias para investigar os efeitos daqueles fatores. Nesse caso, a estratégia de identificação e o controle de variáveis eram aspectos determinantes na classificação dos planos. Ao analisar os planejamentos dos alunos para as atividades, eles verificaram a pouca quantidade de bons planos. Concluíram que há uma relação quanto ao tema da investigação e a qualidade do planejamento dos estudantes. Além disso, há uma certa relação entre o desempenho do estudante em Física e a qualidade do plano por ele elaborado, apesar dessa relação não ser simples. Estudantes de melhor desempenho tendem a produzir planos melhores, por entenderem melhor as situações propostas e formular hipóteses mais consistentes sobre o fenômeno, ou por terem modelos mentais mais desenvolvidos de experimentação. O entendimento conceitual pertinente ao problema é, assim, um fator importante para estruturar uma solução para problemas práticos.

3.6.5 Aquisição e transferência das estratégias de implementação de testes adequados e consistentes

Considerando a importância que a implementação de testes adequados e consistentes representa para o processo de experimentação e que, segundo pesquisas, apenas uma parte dos estudantes possui estratégias adequadas para a realização satisfatória desses testes, torna-se necessário pesquisar e definir a influência da idade, do contexto da atividade e dos métodos de ensino utilizados sobre o aprendizado de tais estratégias, assim como pensar em formas eficientes de ensiná-las.

Ross (1988) analisa sessenta e cinco trabalhos desenvolvidos nas décadas de 70 e 80 que descrevem a implementação de alguma metodologia de ensino/aprendizagem, visando desenvolver nos indivíduos a habilidade de realizar testes adequados e consistentes. Como resultado de sua pesquisa, Ross pode concluir que:

- Pesquisas que se concentram em aspectos específicos do controle de variáveis, desenvolvidas em ambientes complexos e que avaliam o desempenho de participantes ao longo de contextos diferenciados são mais indicadas para revelar o impacto da metodologia de ensino desenvolvida;
- A eficiência da metodologia é aumentada quando se utiliza aspectos motivacionais baseados no conflito cognitivo e quando se utiliza domínios de interesse dos

participantes. Além disso, eficiência também pode ser aumentada quando se utiliza diversos domínios e contextos;

- As metodologias são mais eficientes quando fornecem instruções explícitas, com descrição de como se realiza um controle efetivo de variáveis.

Pesquisas (Schauble e Glaser, 1990; Chen e Klahr, 1999) concluem que a sofisticação nas estratégias de investigação, de uma forma geral, se desenvolve com a idade e escolaridade. Crianças mais novas geralmente manipulam apenas os fatores que elas acreditam que afetarão a variável dependente e falham ao não manterem outros fatores constantes. Elas geralmente preferem confiar em seus conhecimentos prévios quando confrontadas com evidências não condizentes (que contrariem 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 foi observado, apesar de desenvolver novas e melhores estratégias, os indivíduos não substituem imediatamente as menos eficientes.

Schauble (1996) desenvolve um trabalho cujo objetivo era analisar as mudanças no conhecimento e nas estratégias de experimentação de crianças e adultos ao longo de sessões nas quais os participantes conduziam atividades investigativas sobre dois temas diferentes, ligados à hidrostática e hidrodinâmica e esperava-se que os indivíduos descobrissem as relações causais entre as diversas variáveis envolvidas. Após seis sessões, ambos os grupos demonstraram mudanças e evoluções no conhecimento do domínio investigado e nas estratégias para gerar e interpretar as evidências. É importante ressaltar que essas mudanças observadas foram devidas apenas à exposição dos indivíduos ao ambiente de investigação ao longo das sessões. Esse resultado corrobora resultados de pesquisas anteriores (Kuhn e Angelev, 1976; Schauble, 1990) que indicam que indivíduos, de uma forma geral, melhoram o seu desempenho ao longo de uma atividade e durante a execução de atividades semelhantes, mesmo que não haja instrução explícita de como se proceder.

Schauble percebe, ainda, a íntima relação entre o desenvolvimento do conhecimento do domínio teórico envolvido e o aperfeiçoamento das estratégias de investigação, concluindo 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 gerais e específicos.

Devido aos resultados, de certa forma contraditórios, encontrados na literatura sobre a compreensão que crianças mais novas possuem sobre os diversos aspectos do processo de investigação, Chen e Klahr (1999) se interessam em determinar se crianças são capazes de compreender a lógica e a importância da implementação de testes adequados e consistentes e como elas aprendem, generalizam e transferem essa habilidade para outras atividades e domínios.

Na pesquisa desenvolvida por Kuhn e Angelev (1976), crianças entre nove e doze anos, trabalhando em três problemas distintos que exigiam a utilização de testes adequados e consistentes para a obtenção de evidências válidas, durante quinze semanas de intervenção, desenvolveram estratégias mais adequadas de controlar variáveis. Porém, as crianças que receberam instruções explícitas sobre como realizar testes adequados e consistentes (uma ou duas vezes por semana) não obtiveram um desempenho superior às crianças que não receberam instruções explícitas.

Sendo assim, Chen e Klahr (1999) têm por objetivos principais determinar sob quais condições crianças podem aprender, aplicar e transferir estratégia de controle de variáveis. Segundo eles,

> "considerando que estratégia de controle de variáveis é uma habilidade fundamental no processo científico e considerando que poucos estudantes do ensino elementar[10] a utilizam espontaneamente quando deveriam, é importante saber se há maneiras efetivas de ensinar estratégias de controle de variáveis e se há relação entre a idade e o método educacional utilizado com o aprendizado e a transferência dessa habilidade entre contextos." (Chen e Klahr, 1999, p. 1098).

Chen e Klahr trabalharam com crianças com idades entre 7 e 10 anos. O estudo dividiu-se em duas partes. A primeira tinha um caráter experimental, na qual parte dos participantes elaborava e executava individualmente experimentos para testar o efeito de diversas variáveis independentes sobre uma dependente. Nessa parte, foram utilizados três problemas distintos, que envolviam diversos domínios teóricos (plano inclinado, mola e hidrodinâmica). As crianças que participaram dessa parte inicial da pesquisa foram divididas em três grupos. Um grupo, através de instruções explícitas e de exemplos práticos, aprendeu sobre a importância e a implementação de testes adequados e consistentes. Além disso, a cada experimento realizado, as crianças receberam questões que as auxiliavam a pensar sobre o que

[10] Os autores referem-se aos anos de escolaridade similar ao ensino fundamental no Brasil.

estavam fazendo e o porquê. O segundo grupo de crianças recebeu apenas as questões e o terceiro grupo executou as atividades sem instrução e sem as questões.

A segunda parte da pesquisa consistiu de um pós-teste, realizado sete meses após a realização da primeira parte, que serviu para medir a capacidade de transferência das habilidades adquiridas pelos participantes da primeira parte. Assim, participaram da segunda parte os alunos que realizaram a primeira parte e mais trinta e uma crianças. Nessa etapa, as crianças resolveram um problema de lápis e papel que consistia em avaliar a adequação de uma série de comparações experimentais para testar o efeito de uma variável específica sobre outra.

Após a análise de vários itens relacionados com o domínio da habilidade de realizar testes adequados e consistentes, os autores concluem que

> "com instrução apropriada, alunos do ensino básico são capazes de entender, aprender e aplicar estratégia básica de controle de variáveis quando avaliam e realizam atividades simples." (Chen e Klahr, 1999, p.1114).

Além disso, com esse aprendizado e o conseqüente aumento na capacidade de realizar experimentos mais válidos, os alunos aumentam seus conhecimentos sobre os temas abordados. Porém, alertam para o tipo de ensino a ser utilizado:

> "...na ausência de uma instrução direta, crianças apresentam, normalmente, um desenvolvimento apenas gradual quanto à exatidão de suas soluções e à qualidade de suas explicações. Em contraste, instruções explicitas têm sido vistas como limitadas e pouco efetivas porque tendem a não requerer dos estudantes uma participação ativa e, por isso, a aquisição de conhecimento via instrução explícita é tida como de generalidade limitada. Entretanto, os resultados obtidos indicam que instrução explícita, combinada com experimentos simples, pode ser extremamente efetiva e eficiente para ensinar crianças uma habilidade científica como estratégia de controle de variáveis. Devemos notar que fornecer instrução explícita não está associado com aprendizado passivo. As crianças nesse estudo não receberam instruções passivamente. As instruções foram dadas apenas quando as crianças tiveram a oportunidade de explorar a atividade e foram combinadas com perguntas para facilitar um processamento ativo. Assim, mesmo que a instrução seja dada atrelada à um domínio teórico específico, crianças que receberam tal treinamento são capazes de transferirem a estratégia para outros problemas". (Chen e Klahr, 1999, p. 1115)

Apesar do trabalho de Chen e Klahr (1999) deixar claro que instruções explícitas associadas com o engajamento dos indivíduos em atividades investigativas é uma

metodologia eficiente para desenvolver a habilidade de executar testes adequados e consistentes, há uma série de dificuldades e limitações quando se pensa em adotar tal metodologia no currículo e implementar essas atividades em sala-de-aula. Por isso, em um trabalho posterior, Toth, Klahr e Chen (2000) fazem uma crítica às pesquisas sobre cognição e ensino. Eles argumentam que a maioria dos trabalhos desenvolve instrumentos de pesquisas e planejam unidades de ensino que são implementados, em sua maioria, em laboratórios de pesquisa, onde o individuo trabalha sozinho sob a supervisão dos pesquisadores ou com grupos reduzidos de estudantes. Quando pensa-se na implementação dessas unidades ou da metodologia de ensino numa situação real, trabalhando-se com 20, 30 alunos, ocorre, invariavelmente, uma perda de eficiência, devido às características de cada ambiente.

Assim, esses autores tentam estabelecer uma ligação entre essas atividades, adaptando uma atividade investigativa desenvolvida originalmente para fins de pesquisa para intervenção na sala de aula e laboratório, fazendo mínimas mudanças, na qual o foco da atividade era identificar a evolução na habilidade dos participantes em identificar e implementar testes adequados e consistentes.

Os autores analisaram 77 alunos, com média de idade de dez anos, ao investigarem os efeitos de quatro variáveis independentes sobre uma variável dependente, envolvendo três domínios distintos (plano inclinado, molas e afundamento dos materiais) em diferentes ambientes: individualmente e em grupos de 3 a 5 estudantes no laboratório e na sala de aula antes e depois de uma instrução sobre a importância e sobre como se implementa testes adequados e consistentes. Ao comparar o desempenho dos estudantes nessas situações e perceber um ganho significativo na habilidade de realizar e justificar experimentos controlados, eles concluem que a instrução explícita, juntamente com atividades que desenvolvam estratégias corretas de controle de variáveis contribuem muito para o desenvolvimento de tal habilidade.

Porém, mesmo com a utilização de atividades que priorizam o engajamento dos estudantes, promover o desenvolvimento de uma estratégia adequada de controle de variáveis depende de vários fatores não tratáveis com tais atividades, entre eles o conhecimento conceitual do aluno sobre o domínio teórico, seu desenvolvimento cognitivo, a complexidade das atividades e fatores pessoais. Schauble sintetiza bem tal desafio:

> “a complexa natureza das habilidades envolvidas na resolução desses problemas, e a variedade nas performances, até mesmo entre adultos, sugerem que a trajetória de desenvolvimento das

> estratégias e processos associados com o raciocínio científico aparenta ser muito longa, talvez, eterna.” (Schauble, 1996, p.118).

É necessário encarar esse desafio e desenvolver atividades que propiciem um maior desenvolvimento dessa habilidade. Mas, para isso, precisamos inicialmente definir de que forma os fatores já levantados dificultam ou influenciam os alunos na escolha das estratégias utilizadas durante a experimentação. É com esse objetivo que propomos as questões de pesquisa e a metodologia a seguir.

4 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

Como vimos no capítulo anterior, a maioria dos trabalhos desenvolvidos assume que as atitudes e estratégias utilizadas pelos estudantes durante uma atividade experimental, sobretudo durante as atividades investigativas, refletem diferentes níveis de compreensão e domínio dos conhecimentos conceituais e procedimentais envolvidos. Baseado na literatura revista, trabalhamos com a hipótese de que o conhecimento mobilizado pelo indivíduo durante a atividade investigativa pode ser caracterizado em termos de quatro aspectos: (a) o objetivo que ele atribui à tarefa/atividade realizada; (b) os resultados parciais obtidos durante a atividade; (c) o conhecimento sobre o domínio teórico específico ao qual a atividade se refere, (d) a relação de causalidade entre as variáveis envolvidas.

Porém, ao longo de toda atividade investigativa, os quatro aspectos levantados exercem diferentes graus de influência, dependendo do processo envolvido. Durante o processo de formulação de hipóteses, quando são estabelecidos os objetivos para a atividade e definidas as questões de pesquisa, a influência do objetivo atribuído à atividade e o modelo de causalidade entre variáveis são mais acentuados do que os outros. Durante o processo de execução da atividade, o conhecimento prévio do domínio teórico, os resultados parciais e o modelo de causalidade entre variáveis exercem uma influência maior. Finalmente, durante o processo de análise das evidências, quando os resultados são analisados criticamente, a influência do conhecimento prévio, do objetivo atribuído à atividade e o modelo de causalidade entre variáveis possuem uma influência significante.

Neste capítulo, discutiremos a metodologia utilizada para a realização da dissertação. Na seção 4.1 apresentamos as questões de pesquisa que orientaram todo o desenvolvimento do trabalho. A formulação das questões de pesquisa e a estruturação da metodologia descrita a partir da seção 4.2 foram conseqüência de uma lacuna metodológica identificada na literatura, a saber, a escassez de pesquisas que tratem as atividades investigativas realizadas pelos estudantes como um todo e não considerem apenas seus aspectos e processos de forma isolada.

4.1 Questões da Pesquisa

O objetivo desse estudo é o de caracterizar o conhecimento e as estratégias que estudantes utilizam ao realizar uma atividade investigativa e como se dá a influência desse conhecimento durante todo o processo de investigação. O principal foco para a análise será justamente o exame do reconhecimento e, em seguida, a utilização de testes experimentais adequados e consistentes para a obtenção de dados válidos para a solução de um problema prático. Para tanto, é necessário responder a algumas questões como:

1. Os alunos do 1º ano do ensino médio conseguem reconhecer um teste experimental adequado e consistente, e distinguí-lo de outros testes que não o são?
2. Em que medida os alunos executam testes experimentais adequados e consistentes durante uma atividade investigativa?
3. Qual a influência dos quatro aspectos que caracterizam o conhecimento mobilizado pelos alunos no reconhecimento e na execução de testes experimentais adequados e consistentes?

Acreditamos que, ao responder essas questões, teremos um quadro de como se dá a influência e a interdependência dos conhecimentos conceituais e procedimentais dos alunos ao longo do desenvolvimento de uma atividade investigativa.

4.2 Metodologia da pesquisa

Dada a interdependência e a relação das habilidades e estratégias envolvidas durante a investigação e os conhecimentos prévios dos indivíduos, é impossível dissociá-los ou examiná-los de forma independente, o que vem sendo tentado em pesquisas anteriores (Tschirgi, 1980; Amsel e Brock, 1996). Cada pesquisa procura responder a perguntas específicas sobre um aspecto particular do desempenho dos estudantes durante o processo de investigação como controle de variáveis, identificação de variáveis causais e não causais, avaliação de evidências, etc. Além disso, devido à escolha dos instrumentos de coleta de dados, essas pesquisas fornecem uma imagem limitada e incompleta da compreensão dos estudantes sobre as investigações científicas.

Para Millar e Driver,

> "... o processo da experimentação depende do conhecimento prévio do estudante. A maneira como ele conduz o experimento, os fatores que são selecionados para a investigação e aqueles que são controlados não são características objetivas, mas decorrem da representação mental que o estudante tem da atividade em questão." (Millar e Driver, 1987, p. 50).

Após uma extensa e competente revisão da literatura, Alexander e Judy (1988) propõem algumas recomendações para as futuras pesquisas na área que visam identificar e estabelecer a interação, sobretudo, entre os conhecimentos procedimentais gerais e conhecimentos conceituais específicos mobilizados pelos indivíduos durante diversas atividades acadêmicas. Segundo elas,

- as pesquisas devem ser conduzidas para abordar explicitamente a questão da interação entre os conhecimentos gerais e específicos;
- as pesquisas devem ser detalhadamente descritas quanto aos procedimentos operacionais, quanto aos sujeitos participantes, quanto ao domínio teórico e natureza da atividade realizada e quanto às estratégias envolvidas;
- as metodologias devem fornecer uma rica quantidade de dados de natureza qualitativa e quantitativa sobre a interação dos conhecimentos gerais e específicos.

Portanto, podemos dividir a coleta do material empírico da pesquisa em três momentos diferentes, nos quais foram utilizados instrumentos diferenciados. Num primeiro momento, levantamos o conhecimento procedimental dos alunos, através do reconhecimento de testes adequados e consistentes. Num segundo momento, levantamos o conhecimento conceitual do aluno através de questionários. E, finalmente, a análise do histórico das duas investigações realizadas, abordando domínios teóricos distintos, propiciou um bom instrumento para verificar a influência e a interdependência desses conhecimentos.

Nesse estudo tentou-se, ainda, desenvolver uma metodologia que, além de caracterizar o pensamento dos estudantes ao longo de toda atividade investigativa, permitisse relacionar o conhecimento prévio de cada estudante com o seu desempenho e estratégias utilizadas durante a atividade. Para isso, foi necessário desenvolver instrumentos de pesquisa para identificarmos os objetivos atribuídos à atividade pelos participantes, suas hipóteses iniciais, suas estratégias de experimentação e o processo de análise dos resultados e revisão de hipóteses.

As características dos instrumentos de pesquisa e da metodologia desenvolvida 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 fundamenta na identificação com a atividade científica real. Para tanto, são necessárias algumas características fundamentais:

- O contexto da atividade deve ser suficientemente complexo para permitir uma diversidade de hipóteses e um vasto campo de experimentação, para que as buscas nos respectivos campos não sejam triviais.
- O conhecimento prévio do domínio teórico deve influenciar a forma, o conteúdo, a estrutura e a especificidade das hipóteses formuladas.
- Os participantes devem configurar e produzir seus próprios experimentos.
- Os participantes não devem apenas trabalhar com padrões de covariação ou conjunto de dados pré-determinados, mas sim, produzí-los para que possam ser analisados de acordo com as hipóteses iniciais.
- Os participantes devem ter a liberdade de decidir quando parar. Eles devem basear suas conclusões na análise das evidências obtidas, rever as hipóteses iniciais à luz dessas evidências e de seus conhecimentos e decidir se os objetivos propostos para a atividade foram alcançados.

4.2.1 Sujeitos da pesquisa

Participaram da pesquisa 186 alunos das sete turmas de 1º ano do ensino médio de uma escola federal de Belo Horizonte, com idades variando entre 14,9 e 18,3 anos. A média de idade dos alunos era de 16,2 anos e o desvio padrão igual a 0,7. Os dados foram coletados em setembro de 2003, durante o ano letivo dos alunos. Toda a coleta de dados descrita aqui foi realizada durante uma semana, durante a qual foram utilizadas, com a devida autorização da diretoria da escola, as aulas de Física e Informática.

Nessa escola, o currículo de Física tem um forte caráter experimental, aproveitando-se da estrutura de laboratórios e os recursos disponíveis. Sendo assim, os alunos do ensino médio realizam atividades práticas semanalmente. Optou-se por trabalhar com alunos do 1º ano do ensino médio principalmente por dois motivos. O primeiro foi a garantia de acesso aos estudantes. O segundo é que, por serem do 1º ano, a experiência dos alunos em atividade de laboratório ainda é limitada.

4.2.2 Instrumentos de pesquisa

A atividade investigativa pode ser caracterizada pela interação entre os conhecimentos conceituais e procedimentais. Como relatado anteriormente, com a metodologia proposta para esse trabalho, procuramos inicialmente, identificar os conhecimentos conceituais e procedimentais de forma isolada para, em seguida, com a atividade investigativa, explorarmos a interação e a interdependência desses conhecimentos. Para que a coleta de dados ocorresse da melhor maneira possível, o material empírico da pesquisa foi coletado utilizando-se vários instrumentos. Para melhor compreensão da estrutura da coleta de dados, o quadro 4.1 nos auxilia no relacionamento de cada instrumento de pesquisa utilizado com o tipo de conhecimento (conceitual ou procedimental) mobilizado pelos estudantes.

Quadro 4.1 – Relação entre os instrumentos de pesquisa e o tipo de conhecimento avaliado.

Tipo de Conhecimento	Instrumento de Pesquisa
Procedimental	Teste sobre o reconhecimento de testes adequados e consistentes
Conceitual	Questionário sobre conhecimento prévio do domínio teórico Questionário sobre a causalidade de determinadas variáveis Questionário final sobre a causalidade das variáveis
Interação entre os tipos de conhecimento	Execução da investigação Pergunta sobre os objetivos da atividade realizada

Para uma maior organização, os instrumentos da pesquisa, bem como os procedimentos específicos de aplicação de cada um deles, serão descritos separadamente, na ordem de apresentação aos alunos. Como os alunos realizaram duas atividades investigativas, todos os instrumentos, salvo quando especificado o contrário, foram desenvolvidos para cada investigação e, por isso, aplicados duas vezes para cada aluno.

4.2.2.1 Teste sobre o reconhecimento de testes adequados e consistentes

O primeiro instrumento de pesquisa utilizado foi aplicado de forma individual para cada aluno. O instrumento era composto de uma série de dois esquemas experimentais que abordavam dois problemas diferentes, denominados de ‘Equilíbrio térmico’ e ‘Plano inclinado’. Cada problema consistia na avaliação de comparações 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.

O teste foi apresentado sob a forma de um livreto com 12 páginas, sendo uma página de instrução antes de cada situação-problema e dez contendo um esquema de um experimento em cada página (Anexo A). Foram preparados dois tipos de livretos com a ordem de apresentação das duas situações-problema alternada: o Livreto 1 inicia-se com o problema do 'Plano inclinado' e o Livreto 2 inicia-se com o problema do 'Equilíbrio térmico'. No quadro 4.2 estão resumidas as características de cada situação-problema:

Quadro 4.2 – Características dos problemas abordados no teste.

Tema	Problema	Número de variáveis	Variáveis	Níveis das variáveis
Equilíbrio térmico	Determinar o efeito da **temperatura da água** sobre a temperatura final do sistema água + bloco	Três	Área do bloco **Temperatura da água**[a] Tipo do líquido	Grande ou pequena Quente ou fria Álcool ou água
Plano inclinado	Determinar o efeito da **distância** em 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

Como podemos ver, as situações-problema apresentavam estruturas similares de variáveis, apesar de tratarem de domínios teóricos bastante diferentes. Todas possuíam três variáveis causais e categóricas que assumiam apenas dois valores. A linguagem utilizada para descrever os problemas e as variáveis foi propositadamente coloquial. Os problemas utilizavam comparações experimentais de quatro tipos diferentes:

- Experimento adequado e consistente: 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.

- Experimento inconsistente em uma variável: 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, esses experimentos são inadequados para determinar o efeito da variável relevante.

- Experimento inconsistente em todas as variáveis: aquele em que a variável relevante assume valores diferentes, juntamente com as demais variáveis. Estes experimentos são, então, inadequados para determinar o efeito da variável relevante.

- Experimento consistente, mas inadequado: aquele em que uma outra variável independente, mas irrelevante para o problema, assume valores diferentes, enquanto que a variável relevante é mantida constante. Estes experimentos, apesar de serem corretos quanto ao controle de variáveis, são inadequados para determinar a influência da variável relevante. Para os dois problemas, foram utilizados dois experimentos desse tipo. Em um deles, a variável independente que é modificada é causal, ou seja, tem influência sobre a variável independente. No outro experimento, a variável independente alterada é não causal.

Os livretos foram misturados e distribuídos de forma aleatória para os alunos. A tabela 4.1 apresenta o número de alunos que utilizou cada livreto.

Tabela 4.1 – Distribuição dos livretos entre os alunos.

Número de alunos	Livreto aplicado	Ordem da situação-problema
91	Livreto 1	Plano inclinado/ Equilíbrio térmico
94	Livreto 2	Equilíbrio térmico/ Plano inclinado

Todos os alunos de uma mesma turma realizaram esse teste no mesmo dia e apenas uma vez. Como foi o primeiro instrumento de coleta de dados utilizado, antes de sua aplicação, comunicamos aos estudantes o objetivo geral da pesquisa. Instruímos os estudantes a prestar atenção às instruções fornecidas pelas páginas de instrução e pelo pesquisador e a olhar para os desenhos cuidadosamente.

Durante a apresentação dos dois problemas, optou-se pelo uso de proposições gerais, evitando-se terminologia técnica, para não sugerir hipóteses ou entendimentos específicos. Para cada situação-problema, uma comparação experimental aleatória foi utilizada para uma explicação oral da tarefa. Em seguida, de acordo com os objetivos estabelecidos, os alunos avaliaram a adequação dos conjuntos de esquemas experimentais para testar o efeito de determinada variável sobre outra. Os estudantes trabalharam individualmente durante todo o teste, seguindo seu próprio ritmo. Para cada experimento, eles foram orientados a marcar se o experimento era bom ou ruim, tendo em vista os objetivos estabelecidos. Em seguida, foi-lhes

solicitado que justificassem suas escolhas. Os alunos demoraram, em média, 20 minutos para realizar o teste.

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 (Gomes e Borges, 2002; 2003) e se mostrou bastante eficiente para levantar as dificuldades dos estudantes em reconhecer e justificar a importância de um teste adequado e consistente.

4.2.2.2 Questionário sobre conhecimento prévio do domínio teórico

À medida que os alunos entregavam o teste sobre o reconhecimento dos testes adequados e consistentes[11], recebiam um questionário contento questões discursivas e de múltipla escolha sobre o domínio teórico da investigação que eles fariam (Anexo B). A aplicação do questionário foi importante para determinar se os estudantes dominavam ou não o conteúdo conceitual e teórico sobre o qual a atividade investigativa trataria.

Os questionários aplicados aos alunos foram submetidos a um processo de validação. Seis professores, com pelo menos curso de Especialização em ensino de Ciências/Física e familiarizados com pesquisa em ensino de Ciências, avaliaram o questionário, tendo em vista sua adequação para o levantamento do conhecimento dos estudantes sobre o tema. Durante o processo de avaliação, os professores atribuíram uma nota que variava entre zero (se a questão deveria ser retirada do questionário) e três (quando a questão era muito boa para levantar o conhecimento conceitual do aluno). Nos quadros 4.3 e 4.4 estão representados os tipos de cada questão, juntamente com a média das notas atribuídas pelos professores para os dois questionários aplicados.

Podemos observar que apenas uma questão (questão 8 do questionário sobre equilíbrio térmico) nos dois questionários obteve uma média inferior a dois, o que indica que, de uma forma geral, os professores consultados aprovaram os questionários e entenderam que eles foram importantes na determinação do conhecimento conceitual que os estudantes possuíam sobre o domínio teórico que trataria a atividade investigativa.

[11] Para a realização da segunda atividade investigativa, a coleta de dados inicia-se com o questionário, uma vez que o teste para o reconhecimento dos testes adequados e consistentes foi aplicado apenas no primeiro dia.

Quadro 4.3 – Características do questionário sobre Equilíbrio térmico.

Questionário sobre temperatura e equilíbrio térmico								
Questão	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Tipo da questão	DIS	ME	ME	ME	ME	ME	ME	ME
Nota média atribuída pelos professores	2,8	2,2	2,2	2,0	2,7	2,7	2,7	1,7

NOTA: DIS – Questão dissertativa.
ME – Questões de múltipla escolha.

Quadro 4.4 – Características do questionário sobre Plano inclinado.

Questionário sobre plano inclinado e movimento acelerado								
Questão	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Tipo da questão	DIS	ASS	ASS	ME	ME	ME	ME	ME
Nota média atribuída pelos professores	2,7	2,7	2,5	2,2	2,7	2,8	2,5	2,2

NOTA: ASS – Questão associativa.
DIS – Questão dissertativa.
ME – Questões de múltipla escolha.

Como resultado dessa avaliação, cada questão recebeu um determinado peso (a média das notas atribuídas a cada questão) e a nota de cada estudante foi determinada a partir de uma chave de correção e do peso estabelecido para cada questão.

4.2.2.3 Questionário sobre a causalidade de determinadas variáveis

Após responderem ao questionário, o conhecimento específico de domínio dos estudantes foi mais uma vez pesquisado, agora, sobre a suposta causalidade de determinadas variáveis envolvidas em uma atividade experimental, brevemente descrita na introdução do questionário (Anexo C). Esse método de perguntar explicitamente sobre a causalidade de determinadas variáveis que compõem o problema a ser investigado antes da realização da atividade prática é comum nas pesquisas da área (Schauble, 1990; Penner e Klahr, 1996; Chen e Klahr, 1999), seja ele feito através de questionários ou entrevistas.

Para a descrição da atividade, tomamos o cuidado para não sugerir, nem influenciar qualquer forma de raciocínio dos estudantes. Mais uma vez, as variáveis consultadas estariam

presentes na atividade investigativa através da simulação computacional e a descrição da atividade no enunciado do questionário coincidia com a atividade que seria realizada.

Para cada uma das quatro variáveis, era perguntado se a variável teria influência ou não no resultado e era solicitada uma justificativa, ou seja, o estudante deveria explicar de que maneira acreditava que essa variável influenciaria ou não no resultado. Essa etapa da investigação configura-se no processo de levantamento de hipóteses e permite aos estudantes explicitar suas idéias acerca das variáveis envolvidas, definir a influência de cada variável, assim como a natureza dessa influência (Varela e Martínez, 1997).

4.2.2.4 Execução da Investigação

A execução da investigação através de simulações computacionais foi a atividade central da pesquisa. 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 tradicional demandaria a análise de uma quantidade enorme de material e um tempo excessivo para coletar os dados, o que inviabilizaria a pesquisa.

As simulações utilizadas, especialmente desenvolvidas para a pesquisa, contemplaram todas as características de uma atividade investigativa. De interface amigável, desenvolvidas sob plataforma Windows (as telas principais de cada uma delas são apresentadas nas figuras 4.1 e 4.2), as simulações mostraram-se facilmente entendidas e utilizadas pelos alunos. Vale ressaltar que os alunos do 1º ano dessa escola assistem aulas de Informática semanalmente, pois possuem a disciplina Informática na grade curricular. Por isso, o manuseio do computador em si não oferece nenhuma dificuldade específica para eles.

Para se investigar e comparar o desempenho dos estudantes na realização de investigações em diferentes domínios teóricos, foram desenvolvidas duas simulações, abordando dois temas diferenciados (envolvendo temperatura e equilíbrio térmico e movimento acelerado e plano inclinado), mas com a mesma estrutura de variáveis e procedimentos.

O objetivo de cada investigação foi o de estabelecer quais variáveis, em um conjunto de variáveis independentes, exerciam influência sobre uma determinada variável dependente[12].

[12] Para a comunicação com os alunos, os objetivos das atividades foram tratados de forma mais coloquial e de fácil compreensão para os alunos. Os objetivos comunicados aos estudantes estão no Quadro 4.5.

Figura 4.1 - Tela principal da simulação para o problema do Plano inclinado

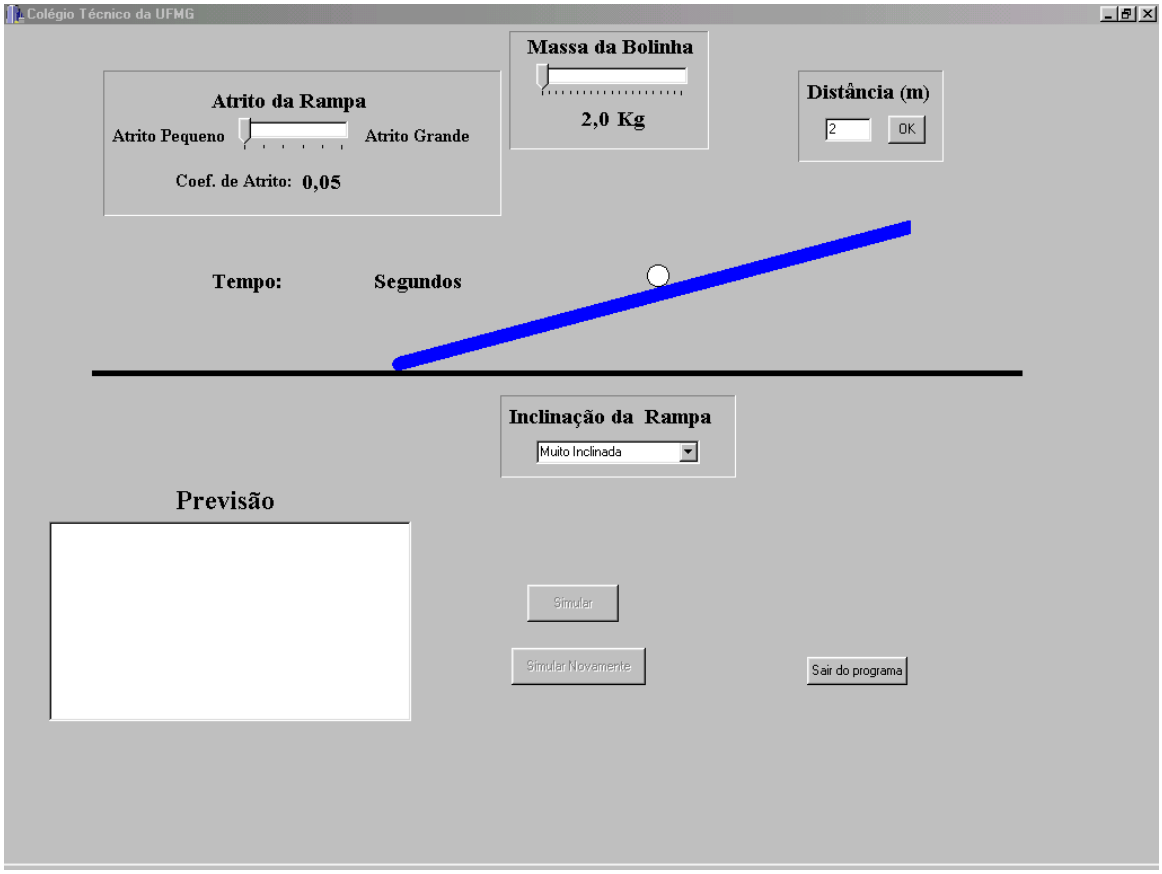
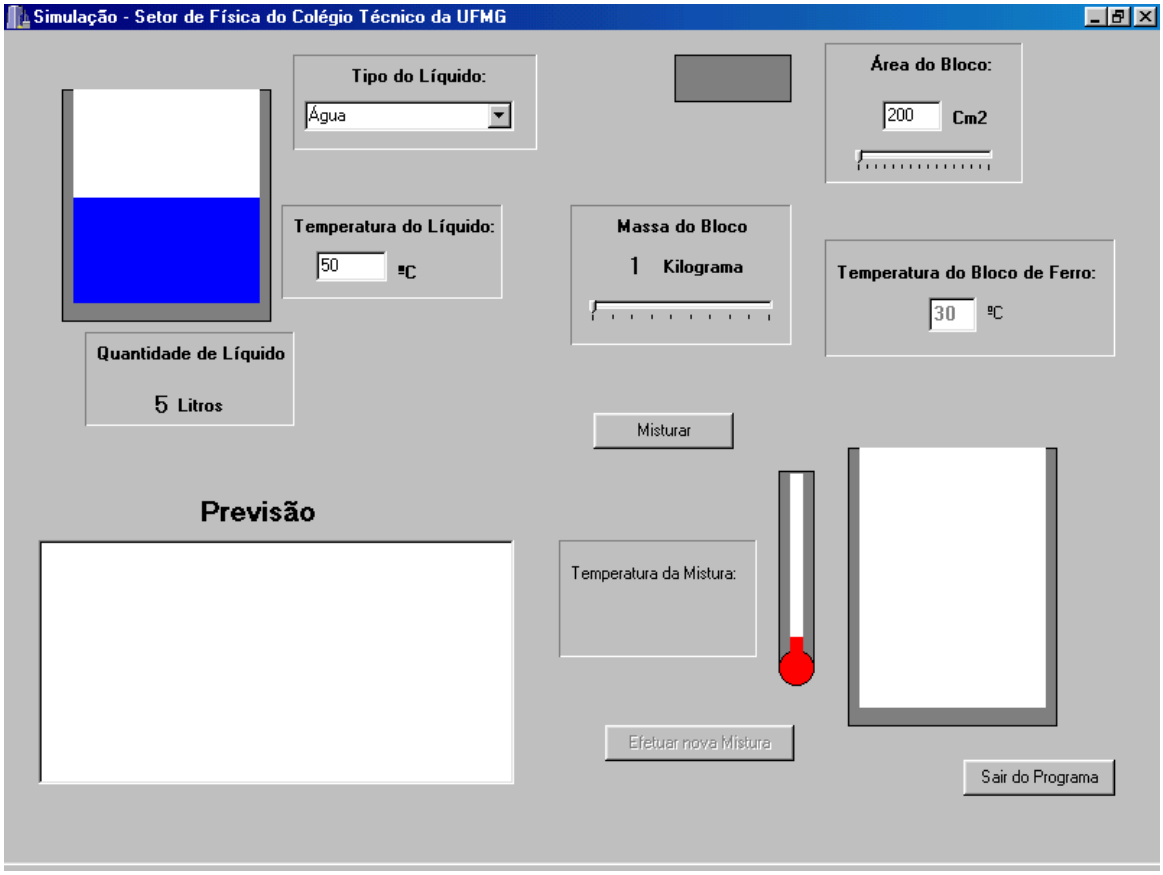


Figura 4.2 - Tela principal da simulação para o problema do Equilíbrio térmico



Dentre as variáveis independentes, havia variáveis causais (que influenciam na variável dependente) e uma não-causal (que não tem influência sobre a variável dependente). O quadro 4.5 descreve as principais características das atividades investigativas desenvolvidas.

Quadro 4.5 – Características das atividades investigativas

Tema	Objetivo	Variáveis	Fatores/Variáveis	Tipo de variáveis
Equilíbrio Térmico	Determinar quais os fatores influenciam na temperatura final do sistema	2	Área superf. do bloco Temperatura do líquido	Discreta (20 níveis) Contínua
		4	Área superf. do bloco Temperatura do líquido Tipo do líquido Massa do bloco	Discreta (20 níveis) Contínua Nominal (3 níveis) Discreta (10 níveis)
Plano Inclinado	Determinar quais os fatores influenciam sobre o tempo que as esferas gastam para percorrer a rampa	2	Distância Massa da esfera	Contínua Discreta (20 níveis)
		4	Distância Massa da esfera Inclinação Atrito	Contínua Discreta (20 níveis) Nominal (3 níveis) Discreta (6 níveis)

Pelo quadro 4.5 podemos ver que para cada um dos dois temas escolhidos foram desenvolvidas duas simulações que apresentavam como diferença básica o número de variáveis envolvidas. Para as atividades investigativas que envolviam apenas duas variáveis, as demais variáveis eram tomadas como fatores constantes.

Durante toda a coleta de dados, os estudantes preencheram os valores das variáveis independentes, justificando, em um espaço apropriado, os valores fornecidos. Em seguida, ao clique de um botão, o resultado era fornecido, com uma breve animação, e era solicitado dos alunos um comentário sobre o resultado obtido. Ao finalizar o comentário, o aluno tinha a opção de continuar com a investigação ou sair do programa. Ao sair, todos os dados fornecidos, justificativas e comentários eram armazenados em um arquivo para análise. Através deste arquivo, que representa o histórico da investigação, pode-se saber se os alunos realizaram testes experimentais adequados e consistentes, as estratégias utilizadas e se eles perceberam sua importância para a obtenção dos dados válidos (para um exemplo, veja Anexo D).

As atividades investigativas utilizadas nesse estudo foram concebidas para promover a oportunidade de observar as estratégias de geração de evidências que os alunos utilizam em um contexto cujo conhecimento de senso comum e o 'senso de mecanismo' são muito fortes. Além disso, propiciam também analisar como essas estratégias evoluem ou se modificam ao longo das atividades. Dessa forma, assim como em outras pesquisas (Klahr, Fay e Dunbar, 1993; Penner e Klahr, 1996), planejamos atividades que requeriam 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.

4.2.2.5 Questionário final sobre a causalidade das variáveis

Após a execução da atividade investigativa, os alunos responderam a um outro questionário que abordava a causalidade das variáveis envolvidas na atividade investigativa (Anexo E). Nesse questionário, era solicitado ao estudante que, *tendo em vista os resultados obtidos durante a atividade*, respondesse sobre a influência ou não das quatro variáveis citadas e justificasse sua opção através da explicação de como ele obteve esse resultado. A aplicação de questionários, logo após as investigações que identificam a causalidade das variáveis envolvidas possui, na pesquisa na área de cognição, dois papéis importantes. O primeiro, para identificar mudanças no pensamento do aluno em decorrência da realização da atividade (Schauble, 1990, 1996; Penner e Klahr, 1996). O segundo, como em outras pesquisas (Kuhn, Amsel e O´Loughlin, 1988; Koslowski,1996), para identificar se o aluno baseou suas respostas nos resultados obtidos (respostas baseadas em evidência) ou baseou-se nos próprios conhecimentos (respostas baseadas em teoria).

4.2.2.6 Pergunta sobre o objetivo da atividade realizada

A última atividade da pesquisa consistiu em responder sobre o objetivo da atividade investigativa. A pergunta feita após a resposta a todos os questionários e após a realização das duas atividades investigativas foi: *Você acabou de realizar uma atividade através de uma simulação computacional. Diga, com suas palavras, qual era o objetivo da atividade de simulação que você realizou.*

Foi solicitado aos estudantes que desconsiderassem os questionários e levassem em consideração apenas a atividade com a simulação computacional. Tal pergunta foi

fundamental para explicitar qual o real objetivo que os alunos atribuíram à atividade. Comparando os objetivos fornecidos pelos estudantes nessa resposta com o previamente proposto, pudemos avaliar o grau de 'degradação' que o objetivo da atividade sofreu e, assim, buscar entender os procedimentos e as estratégias que os estudantes utilizaram para resolvê-la.

4.2.3 Procedimentos

A coleta do material empírico da pesquisa ocorreu na semana entre os dias 22 e 26 de setembro de 2003. Ela foi realizada durante o horário normal de aula. Os 186 alunos que participaram da pesquisa estavam divididos em 7 turmas. Cada uma realizou as atividades da pesquisa em 2 aulas de 100 minutos cada, uma para cada investigação. A ordem do tema da atividade investigativa variou de sala para sala. Portanto, os alunos de determinadas turmas realizaram as atividades relativas ao tema do 'Equilíbrio térmico' no primeiro dia e as atividades do tema do 'Plano inclinado' no outro. Para outras turmas, ocorreu o inverso.

A grande maioria dos estudantes (exceto aqueles que porventura faltaram a determinada aula) respondeu aos questionários e realizou a atividade investigativa para os dois temas, com exceção do r*econhecimento de testes adequados e consistentes*, e da p*ergunta sobre os objetivos da atividade investigativa*, que foram feitos apenas uma vez.

Todos os questionários e perguntas foram realizados individualmente. Era fornecido ao estudante apenas um questionário por vez. A medida em que ele completava um questionário, este era recolhido e outro era-lhe fornecido. Não houve tempo estipulado para a realização de cada atividade.

As atividades investigativas através das simulações computacionais foram realizadas em duplas. A opção por duplas de alunos foi feita tentando aproximar o ambiente da pesquisa, ao de um laboratório escolar, no qual o estudante raramente trabalha sozinho. Além disso, há indícios (Roth, 1995; Meyer e Carlisle, 1996; Kaselman e Kuhn, 2002) que indicam que a performance de dois estudantes trabalhando em dupla é freqüentemente superior ao trabalho individual de cada um.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS I

5.1 Considerações iniciais

O presente capítulo, juntamente com o capítulo seguinte, destina-se à apresentação, análise e discussão dos dados obtidos. A separação da apresentação/análise em dois capítulos foi necessária pois, nesse capítulo, analisamos em profundidade os resultados de cada instrumento de pesquisa de forma isolada e, ao final, levantamos questões sobre possíveis relações entre os resultados obtidos. No capítulo seguinte, tentamos integrar e enriquecer a análise, respondendo às questões previamente levantadas e buscando conectar os resultados obtidos de uma forma unificadora para analisar a atividade realizada como um todo.

5.2 Reconhecimento de testes adequados e consistentes

Para avaliar a capacidade dos estudantes em identificar testes adequados e consistentes e reconhecer a sua importância para a obtenção de resultados experimentais confiáveis, utilizamos um sistema de categorização para classificar as respostas dos estudantes para cada uma das comparações experimentais do livreto. Tal sistema de categorias foi desenvolvido e utilizado em um trabalho anterior (Gomes e Borges, 2003) e se mostrou bastante eficiente.

O sistema elaborado é composto de cinco categorias. Ao organizar a classificação, estivemos atentos, principalmente, à capacidade de reconhecer as comparações nas quais haviam exemplos de controle de variáveis, e à atenção aos objetivos da atividade que os alunos demonstraram ao justificar cada tipo de experimento. O quadro 5.1 apresenta o sistema de categorias que utilizamos.

A seguir, descrevemos e analisamos detalhadamente cada uma das categorias estabelecidas. Apresentamos também exemplos para melhor compreensão das mesmas.

C1 *- Justificativa completa e adequada*

Quando o aluno apresenta esse tipo de justificativa, podemos perceber sua preocupação e o seu entendimento em relação ao controle de variáveis. Ele fala claramente da

necessidade de se variar apenas a variável cujo efeito se deseja determinar e de manter as demais variáveis constantes. Além disso, ele não perde de vista o problema proposto, isto é, o de determinar o efeito de uma variável específica.

Exemplo:

- "Com as bolas de mesma massa e as mesmas inclinações, os critérios de avaliação seriam os mesmos. Com distâncias diferentes, a bola de maior distância chegará por último, o que nos mostraria o efeito da distância no tempo." (Experimento 3 do Problema do 'Plano inclinado').
- "A única diferença no sistema é a temperatura inicial do líquido. E uma vez que o que se quer medir é a influência desta na temperatura final, o sistema apresentará resultados precisos." (Experimento 5 do Problema do 'Equilíbrio térmico').

Quadro 5.1 – Sistema de categorias de justificação

Código	Categoria	Descrição
C1	Justificativa completa e adequada	Justificativa que leva em consideração todos os aspectos do controle de variáveis, além da questão proposta.
C2	Justificativa completa e inadequada	Justificativa que, embora leve em consideração todos os aspectos do controle de variáveis, desconsidera o objetivo da atividade.
C3	Justificativa 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	Justificativa precária	Justificativa na qual o aluno centra sua atenção apenas na variável em foco, desconsiderando o que acontece com as demais.
C5	Justificativa irrelevante	Justificativa que se baseia em alguma concepção alternativa do estudante, sendo irrelevante se considerarmos o controle de variáveis.

C2 *- Justificativa completa e inadequada*

Essa justificativa demonstra que o aluno possui, também, um bom entendimento sobre controle de variáveis e reconhece sua importância na determinação do efeito da variável que é contrastada. Porém, ao justificar, o aluno desconsidera ou perde de vista o 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:

- "Neste caso, ele só varia a inclinação, o que permite a ele descobrir uma resposta mais precisa." (Experimento 5 do Problema do 'Plano inclinado').
- "Agora ele vai determinar a propriedade de cada líquido, e por isso, só varia o líquido, e não os blocos, ou a temperatura." (Experimento 4 do Problema do 'Equilíbrio térmico').

C3 *- Justificativa incipiente*

A utilização dessa justificativa demonstra que o aluno ainda não domina totalmente o controle de variáveis, pois ele percebe que alguma outra variável também se altera, mas, ainda assim, acredita que seja possível determinar o efeito da variável relevante. Ele falha, muitas vezes, em perceber quais variáveis estão sendo contrastadas nos experimentos.

Exemplos:

- "Com as massas iguais e com grande inclinação na distância pequena e pequena inclinação na distancia grande é possível." (Experimento 4 do Problema do 'Plano inclinado').
- "Tendo os dois blocos o mesmo tamanho, dá para saber a temperatura final do conjunto." (Experimento 4 do Problema do 'Equilíbrio térmico').

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. Tal justificativa revela um compromisso maior com o objetivo proposto, mas o estudante revela que não tem consciência da importância do controle de variáveis para a lógica da experimentação.

Exemplos:

- "Neste experimento, o estudante pode obter resultados diferentes por usar líquidos de temperaturas diferentes." (Experimento 5 do Problema do 'Equilíbrio térmico').
- "A distância não varia, logo não posso afirmar nada." (Experimento 5 do Problema do 'Plano inclinado').

C5 *- Justificativa irrelevante*

Muitos alunos recorreram a suas concepções alternativas sobre os assuntos que envolviam os problemas (equilíbrio térmico e movimento acelerado) para avaliar os experimentos, explicitando, assim, o seu senso intuitivo de mecanismo.

Todas essas justificativas não apresentaram qualquer indício de controle de variáveis e, muitas vezes, 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 o menor tempo para a esfera descer a rampa ou

obter o conjunto mais quente. Este comportamento é semelhante ao modo típico de trabalho de engenheiro (Schauble, Klopfer e Raghavan,1991).

Exemplos:

- "Com a ajuda da inclinação e distância, o primeiro experimento vai chegar primeiro." (Experimento 4 do Problema do 'Plano inclinado').
- "Porque através do experimento, ele poderá verificar quais objetos irão absorver ou ceder calor. (Experimento 4 do Problema do 'Equilíbrio térmico').

Tendo em vista essa categorização, descrevemos e analisamos os principais resultados obtidos.

5.2.1 Distribuição das justificativas

Nosso primeiro item de análise foi quanto à freqüência total da ocorrência das justificativas, considerando todos os problemas, livretos e alunos. A tabela 5.1 apresenta a freqüência com a respectiva porcentagem para cada uma das categorias de justificação.

Tabela 5.1 - Freqüência de ocorrência das justificativas

Justificativas	**Ocorrência das justificativas**	
	N	**%**
C1	949	51,3
C2	130	7,0
C3	351	19,0
C4	72	3,9
C5	319	17,2
Sem justificativa	29	1,6
Total	***1850***	***100,0***

Percebe-se uma grande predominância da categoria **C1** (51,3%), seguida pelas categorias **C3** e **C5**. As demais categorias somaram juntas apenas 12,5%. Das 319 justificativas categorizadas por nós como **C5**, boa parte apresenta indícios de que os alunos trataram os problemas segundo o 'modo de engenharia', proposto por Schauble, Klopfer e Raghavan (1991). Isto ocorreu, apesar de deixarmos explícito, nas instruções escritas no livreto e oralmente durante a apresentação, que o objetivo da atividade ilustrada era o de determinar o efeito da distância sobre o tempo de descida da esfera e o de determinar o efeito da temperatura do líquido sobre a temperatura final do conjunto. Percebemos assim que, ao

analisarem os problemas, alguns alunos desconsideram os objetivos previamente propostos e consideram objetivos mais práticos, visando a otimização do resultado - característicos do 'modo de engenharia' anteriormente citado. Esses alunos avaliaram os experimentos para, por exemplo, obter a configuração que proporcionasse o menor tempo gasto pela esfera ou a configuração que proporcionasse a maior temperatura final do conjunto.

De todas as 1850 respostas, percebemos que em quase a metade (49,7%) ocorreram certas falhas no raciocínio dos estudantes que impediram que eles as justificassem de forma completa e adequada. Sendo assim, excluindo-se as justificativas categorizadas como **C1** e **C2**, nas quais os estudantes levaram em consideração os aspectos sobre controle de variáveis, mais de 40% das justificativas não apresentavam indícios de preocupação com esse controle. É interessante ressaltar que assuntos relacionados com o controle de variáveis são tratados na escola apenas de forma implícita durante as aulas de laboratório de Física e também de Química. A ocorrência das justificativas irrelevantes, precárias e incipientes (**C5**, **C4** e **C3**) pode indicar uma menor capacidade de reconhecer testes adequados e consistentes, pois elas indicam que os alunos recorreram a suas concepções e idéias causais intuitivas para tentar resolver o problema proposto. Tal resultado é um indício do desconhecimento dos alunos quanto ao significado do que seja realizar um experimento e os cuidados necessários durante sua realização!

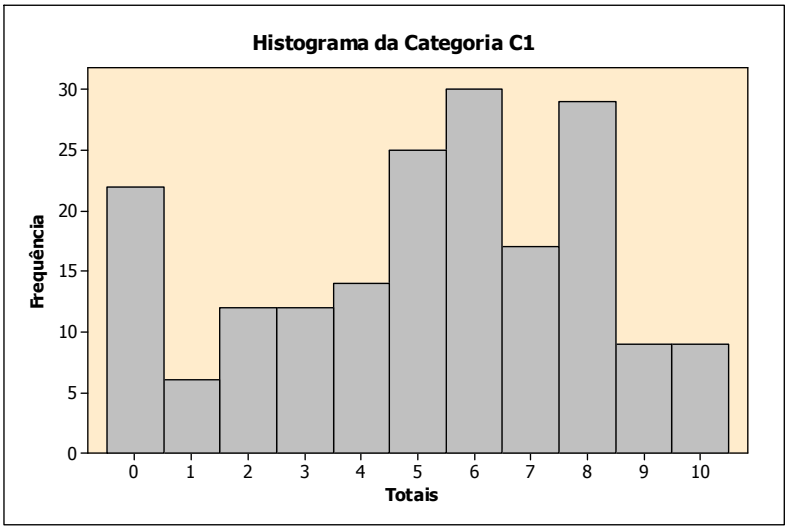
Como se trata de um aspecto importante durante uma atividade investigativa, o controle de variáveis deve ser sempre levado em consideração, independente do tipo de atividade, grau de dificuldade e do domínio teórico do tema da investigação. Para analisarmos a capacidade dos estudantes de avaliar os diversos experimentos corretamente, levantamos o número e porcentagem de alunos cujas dez respostas tenham sido categorizadas como **C1** (justificativa completa e adequada). Isso indica três aspectos importantes:

- Que o aluno, além de demonstrar o domínio de uma estratégia adequada para controlar variáveis e da capacidade de reconhecer testes adequados e consistentes, demonstrou também um entendimento claro do objetivo da atividade, levando-o em consideração quando avaliou os experimentos.
- Que o aluno domina bem a estratégia correta de controle de variáveis, pois soube aplicá-la independente do tipo de experimento e do problema envolvido.
- Uma capacidade de generalização, ou seja, o aluno é capaz de aplicar a mesma estratégia em diferentes contextos, o que provavelmente está relacionado a uma boa compreensão da lógica da experimentação.

Apenas nove alunos (4,9%) apresentaram ou expressaram justificativas **C1** em todas as respostas. Esse número é pequeno e pode indicar que, apesar de saberem identificar testes adequados e consistentes em alguns casos, a maioria dos estudantes apresentou dificuldades em julgar todos os tipos de experimentos envolvidos. Para avaliarmos melhor a capacidade dos estudantes em reconhecer testes adequados e consistentes, fizemos o histograma da categoria **C1**, representado na figura 5.1.

Através do histograma, observamos que os números mais freqüentes de experimentos categorizados com **C1** por aluno foram seis e oito. Porém, nenhuma das justificativas de vinte e dois alunos foram categorizadas como **C1**, o que revela que parte destes alunos teve grandes dificuldades, ou em reconhecer os testes adequados e consistentes, ou de interpretar os objetivos da atividade.

Figura 5.1 – Histograma da distribuição de freqüência da Categoria C1



A média total por aluno de justificativas categorizadas como **C1** foi 5,1 com o desvio padrão 0,2. Essa média, juntamente com o histograma, nos revela que, no geral, os estudantes conseguiram, de certa forma, identificar as comparações experimentais nas quais haviam exemplos de testes adequados e consistentes e também rejeitaram as comparações nas quais esses testes não eram utilizados. Apesar do sucesso relativo de parte dos estudantes, cerca de 30% deles tiveram grandes dificuldades e foram incapazes de obter sucesso na atividade.

5.2.2 Domínio teórico do problema

A atividade consistia, como já vimos, em avaliar a adequação de conjuntos de esquemas experimentais para a resolução de um dado problema. Havia dois grupos de comparações, que compunham duas situações-problema cujos domínios teóricos eram bem diferentes. O problema do 'Equilíbrio térmico' é menos intuitivo, envolve grandezas e conceitos que, normalmente, não são de fácil compreensão para os estudantes, o que resulta em uma maior dificuldade. Já o problema do 'Plano inclinado' é mais intuitivo, e envolve grandezas com as quais os alunos convivem mais no dia-a-dia. Portanto, apesar de serem idênticos quanto à estrutura de variáveis e, conseqüentemente, às exigências referentes ao domínio de estratégias adequadas para controlá-las, cada um apresenta as especificidades relativas a cada domínio. Assim, discutimos sobre como o conteúdo teórico dos problemas pode ter afetado a avaliação dos alunos. A tabela 5.2 apresenta a distribuição das justificativas por categorias, de acordo com o tipo do problema.

Tabela 5.2 – Distribuição das justificativas de acordo com o tipo do problema.

Categorias das justificativas	**Problema**			
	Equilíbrio térmico		**Plano inclinado**	
	N	**%**	**N**	**%**
C1	420	45,4	529	57,2
C2	70	7,6	60	6,5
C3	185	20,0	166	17,9
C4	53	5,7	19	2,1
C5	174	18,8	145	15,7
Sem justificativa	23	2,5	6	0,6
Totais	**925**	**100,0**	**925**	**100,0**

Há uma diferença significativa ($\chi^2(5)=42{,}975$, $p<0{,}001$) no desempenho dos estudantes entre os problemas. Percebe-se, sobretudo pela diferença das ocorrências das categorias de justificativas **C1**, **C4** e **C5**, que os alunos tenderam a justificar mais adequadamente o problema do 'Plano inclinado'. O melhor desempenho nesse problema pode ter ocorrido porque os alunos têm um conhecimento, ou uma familiaridade, maior com o problema, uma vez que esse assunto é, normalmente, abordado nos currículos de 8º ano do ensino fundamental e já tinha sido trabalhado com os alunos quando ocorreu a pesquisa.

Por outro lado, no problema do ‘Equilíbrio térmico’ é visível ainda a compreensão ingênua e inadequada de parte dos alunos com relação a conceitos básicos como calor, temperatura, calor específico (apesar deles também já terem sido trabalhados com os alunos). Inclusive, a diferença significativa entre o número de respostas sem justificativas corrobora a maior dificuldade dos alunos em justificar os experimentos do problema do ‘Equilíbrio térmico’. Muitos, devido a essa dificuldade, preferiram nem justificar suas opções.

Essa diferença entre os desempenhos nos dois problemas, reforça resultados anteriores (Gomes e Borges, 2002; 2003) de que a estratégia de controle de variáveis é uma habilidade cognitiva que, normalmente, é dependente do contexto. Podemos também recorrer à idéia do ‘sentido do mecanismo’, proposto por diSessa (1993), para explicar esse resultado. Como parte dos alunos não dispõe de conhecimentos bem estruturados e organizados sobre equilíbrio térmico, as relações causais que envolvem esse domínio teórico são, provavelmente, mais fracamente entendidas e os alunos tenderam a utilizar outros recursos para responder à questão proposta, não percebendo que a atividade não exigia um conhecimento teórico específico para resolvê-la. Quando expressavam suas idéias e concepções, explicitando o mecanismo, pudemos identificar explicações mais simples e de senso comum, ligadas aos aspectos que, para eles, eram familiares, tais como “o corpo mais quente vai ceder mais calor”, “quanto mais calor, maior a temperatura”, “quanto maior a área, mais calor o corpo vai absorver”. Já para o problema do ‘Plano inclinado’, as justificativas foram mais adequadas devido à maior familiaridade com as grandezas como velocidade, atrito, distância. Assim, os alunos que não reconheceram que para resolver essa atividade bastava a utilização de noções de controle de variáveis, empregaram suas concepções para tentar resolver os problemas propostos.

5.2.3 Ordem de apresentação dos problemas

Para continuarmos a análise dos dados, observamos se a ordem de apresentação e resolução dos problemas afetou ou não o desempenho dos estudantes. Pela tabela 5.3, vemos que os alunos que receberam o Livreto 1 (‘Plano inclinado’/’Equilíbrio térmico’) tiveram um desempenho superior ($\chi^2(5)=15{,}517$, $p=0{,}008$) e as diferenças limitaram-se às categorias **C1** e **C5**. Além disso, pela tabela 5.4, vemos também que os alunos que utilizaram o Livreto 1 tenderam à justificar mais adequadamente os dois problemas, sobretudo o problema do ‘Equilíbrio térmico’ ($\chi^2(5)=10{,}996$, $p=0{,}052$).

Tentamos explicar o maior desempenho dos alunos que fizeram a atividade com o Livreto 1 considerando, sobretudo, dois aspectos. O primeiro, relacionado à retenção dos objetivos das atividades. O fato da realização do problema do 'Plano inclinado' ter precedido o problema do 'Equilíbrio térmico' contribuiu para que os alunos compreendessem melhor os objetivos propostos, provavelmente por ser uma questão mais simples de ser respondida e familiar aos estudantes. Além da diferença entre as porcentagens de justificativas **C1**, as diferenças nas porcentagens de justificativas das categorias **C5** e **C2** entre os Livretos indicam maior atenção dos alunos quanto aos objetivos propostos, pois a utilização dessas duas justificativas sinaliza que os alunos não compreenderam totalmente os objetivos ou os ignoraram.

Tabela 5.3 – Distribuição das justificativas de acordo com o Livreto

Categorias das justificativas	Livreto 1 (Plano/Equil.)		Livreto 2 (Equil./Plano)	
	N	%	N	%
C1	499	54,8	450	47,9
C2	61	6,7	69	7,3
C3	175	19,2	176	18,7
C4	34	3,7	38	4,0
C5	128	14,1	191	20,3
Sem justificativa	13	1,4	16	1,7
Totais	**910**	**100,0**	**940**	**100,0**

Tabela 5.4 – Distribuição das justificativas de acordo com o Livreto e o problema

Categorias das justificativas	Livreto 1		Livreto 2		Livreto 1		Livreto 2	
	Equilíbrio Térmico				Plano Inclinado			
	N	%	N	%	N	%	N	%
C1	226	49,7	194	41,3	273	60,0	256	54,5
C2	29	6,4	41	8,7	32	7,0	28	6,0
C3	92	20,2	93	19,8	83	18,2	83	17,7
C4	26	5,7	27	5,7	8	1,8	11	2,3
C5	70	15,4	104	22,1	58	12,7	87	18,5
Sem justificativa	12	2,6	11	2,3	1	0,2	5	1,1
Totais	**455**	**100,0**	**470**	**100,0**	**455**	**100,0**	**470**	**100,0**

O outro aspecto está relacionado com a percepção de que a atividade independia de conceitos ou conhecimentos específicos para a sua realização. Assim, o problema do 'Plano inclinado', por ser mais simples e concreto, pode ter contribuído para ajudar os estudantes a perceber que a atividade envolvia apenas o controle de variáveis e que bastava atentar-se para esse fato.

5.2.4 Dificuldade de cada experimento e coerência

Analisamos a distribuição da freqüência das categorias de justificação para cada experimento. Isso é importante para sabermos quais tipos de experimento foram mais difíceis de serem avaliados pelos alunos. Como os experimentos dos dois problemas eram do mesmo tipo e exigiam as mesmas habilidades de controle de variáveis ao avaliá-los, acreditávamos que a distribuição da freqüência das categorias de justificação de experimentos do mesmo tipo seriam correlacionadas. A tabela 5.5 relaciona as freqüências das categorias de justificação para cada um dos dez experimentos.

Tabela 5.5 – Distribuição das justificativas de acordo com os experimentos

Categorias das justificativas	**Distribuição de freqüências das categorias de justificação por experimento**									
	Problema do Equilíbrio Térmico					**Problema do Plano Inclinado**				
	E1	**E2**	**E3**	**E4**	**E5**	**E1**	**E2**	**E3**	**E4**	**E5**
C1	75	58	105	47	135	80	102	147	130	70
C2	1	37	2	28	2	29	3	1	1	26
C3	61	29	35	54	6	38	44	9	20	55
C4	5	25	5	15	3	8	2	3	2	5
C5	39	33	35	35	32	29	32	24	32	28
Sem justificativa	4	3	3	6	7	1	2	2	0	1
Total	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185

Percebemos que há uma diferença significativa na distribuição de freqüência das categorias de justificação por experimento ($\chi^2(18)=182{,}339$, $p<0{,}001$)[13]. Para o problema do 'Equilíbrio térmico', os experimentos que os alunos tiveram maiores dificuldades em justificar foram os experimentos E1, E2 e E4. Já no problema do 'Plano inclinado', os experimentos E1, E2 e E5 ofereceram maiores dificuldades aos alunos.

Um fato importante a ser observado é que os experimentos E1, E2 e E4 do problema do 'Equilíbrio térmico' são do mesmo tipo dos experimentos E2, E1 e E5 do problema do 'Plano inclinado', ou seja, de uma forma geral, mesmo com a mudança do domínio teórico da atividade, os alunos tiveram facilidades e dificuldades maiores nos experimentos do mesmo tipo, além de um desempenho semelhante entre esses experimentos.

Os experimentos que os alunos tiveram maior dificuldade de avaliar foram experimentos do tipo consistente mas inadequado. Nesse tipo de experimento, como vimos, uma outra variável independente, mas irrelevante para o problema, assume valores diferentes, enquanto que a variável relevante é mantida constante. Esses experimentos, apesar de serem corretos quanto ao controle de variáveis, são inadequados para determinar a influência da variável relevante. A tendência a considerar esse tipo de experimento como correto não revela uma deficiência no reconhecimento de testes adequados e consistentes, mas sim uma compreensão inadequada de qual é o problema que se deseja resolver, isto é, do objetivo da atividade.

Pode-se perceber também, que o conhecimento do domínio teórico e mecanismo de causalidade das variáveis envolvidas nos problemas também influenciaram na avaliação dos alunos. Foram utilizados dois experimentos do tipo consistente mas inadequado nos dois problemas. Em um dos experimentos, a variável que sofria a variação nas comparações experimentais era causal, enquanto no outro a variável era não causal. Os alunos tenderam a avaliar mais adequadamente o experimento cuja variável era não-causal, justificando que a mudança na comparação experimental não surtiria nenhum efeito observável, pois a variável não tinha qualquer efeito sobre a variável dependente.

Apesar de os alunos terem tido desempenho semelhantes nos experimentos do mesmo tipo, para podermos avaliar a coerência individual na avaliação desses experimentos, levantamos o número de alunos coerentes. Consideramos coerentes aqueles alunos que

[13] Esse teste do Qui-quadrado foi realizado, eliminando-se as categorias C2, C4, e sem justificativa, por apresentarem um grande número de células com valores inferiores a 5. Caso isso não fosse feito, o teste não teria validade estatística.

utilizaram categorias de respostas idênticas para justificar os experimentos de mesmo tipo dos dois problemas. Foram excluídos dos alunos coerentes, os alunos que justificaram todos os experimentos com justificativas irrelevantes (**C5**).

Do total de 185 alunos que realizaram o teste, apenas 17 (9,2%) deles demonstraram coerência durante a avaliação dos experimentos. A porcentagem de alunos que demonstraram coerência ao avaliarem os experimentos é baixa. A falta de coerência pode indicar uma dificuldade de generalização da capacidade de reconhecimento de testes adequados e consistentes. Se excluirmos do total de alunos os 11 alunos que justificaram todos os experimentos com justificativas **C5**, constatamos que 157 estudantes que participaram da pesquisa (84,9%) tiveram os seus desempenhos influenciados pela mudança do domínio teórico ou não identificaram semelhanças entre os experimentos quando os avaliaram.

5.3 Questionário sobre conhecimento prévio do domínio teórico

Passaremos agora à análise do resultado do questionário sobre o conhecimento prévio do domínio teórico, que os alunos fizeram individualmente após entregar o teste de reconhecimento de testes adequados e consistentes. Cada aluno respondeu a dois questionários, contendo oito questões cada: um sobre o domínio teórico temperatura e equilíbrio térmico e outro sobre movimento acelerado e plano inclinado. Nas figuras 5.2 e 5.3, estão representados os gráficos com a média de acerto de cada questão[14] que compunham os dois questionários aplicados. Embaixo de cada questão está representado o seu índice de discriminação. O índice de discriminação representa a correlação entre cada questão e o resultado final do questionário, representando o grau de associação entre o acerto na questão e o bom desempenho no teste. Uma questão que apresenta um índice de discriminação alto indica que quem acertou a questão, em média, se saiu bem no questionário. Ao contrário, uma questão que apresenta índice de discriminação baixo, indica que a questão não avaliou corretamente os estudantes, pois não há relação entre o sucesso na questão e o conseqüente sucesso no questionário.

[14] Para as questões dissertativas e associativas, foram atribuídas notas de 0 a 1, de acordo com uma grade de correção. São representados nos gráficos, os valores das médias das notas obtidas pelos alunos.

O índice de discriminação de cada questão é relativamente alto, o que demonstra a adequação e importância de cada questão sobre o resultado final do teste.

No questionário sobre plano inclinado, as questões que apresentaram maiores dificuldades para os alunos foram as questões 4 e 5. Para resolver a questão 4, além de conhecimento específico sobre o domínio teórico, exigia-se também uma habilidade de leitura e interpretação, o que deve ter contribuído para dificultar a questão. Já a questão 5, envolve, numa mesma questão, vários aspectos chaves do movimento acelerado executado num plano inclinado, o que deve ter dificultado a avaliação da questão.

Figura 5.2 – Dados relativos ao questionário sobre Equilíbrio térmico.

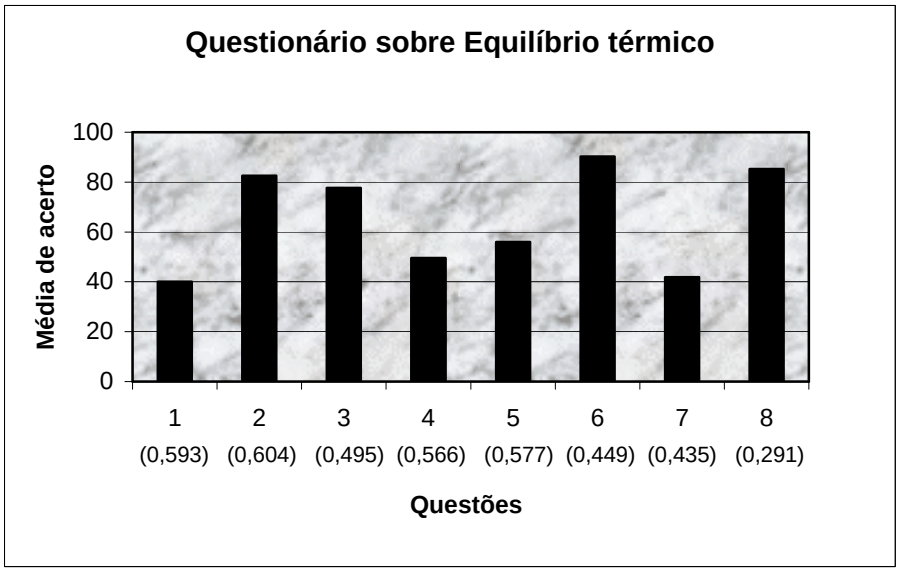
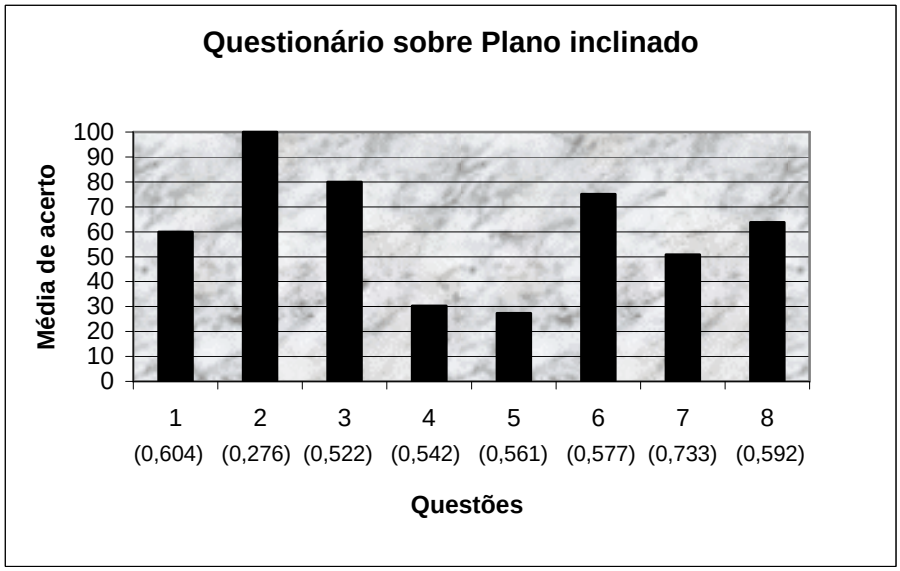


Figura 5.3 – Dados relativos ao questionário sobre Plano inclinado



No questionário sobre temperatura e equilíbrio térmico, as questões nas quais os estudantes tiveram o pior desempenho foram as questões 1 e 7. A questão 1 era uma questão dissertativa, que solicitava ao estudante definir o que era temperatura e calor e relacionar essas duas grandezas. Porém, como já é bastante reportado na literatura (Driver, Squires, Rushworth e Robinson, 1994), grande parte dos alunos sente dificuldades com estes conceitos, pois a sua utilização no dia-a-dia está muito distante dos seus significados aceitos na Física. A questão 7 também envolve diretamente a relação entre os conceitos de temperatura e calor durante o processo de equilíbrio térmico e, provavelmente, por isso, representou uma maior dificuldade para os alunos. Para acertá-la, os alunos deveriam ter claro que, quando dois corpos estão em contato, há a transferência de calor do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura até os dois corpos atingirem uma temperatura de equilíbrio. Como o sistema está isolado, todo calor cedido pelo corpo originalmente à temperatura mais elevada será transferido ao corpo mais frio. A variação de temperatura dos corpos durante o processo dependerá das características de cada corpo, como o calor específico.

A média das notas dos alunos para o questionário sobre plano inclinado foi de 61,75%, enquanto a média para o questionário sobre equilíbrio térmico foi de 63,28%, com desvio padrão de 22,62% e 21,11%, respectivamente. As médias finais nos questionários foram semelhantes, não possuindo diferenças significativas ($t(365)=0,67$, $p=0,501$), o que indica que, apesar da diferença e distância entre os domínios teóricos, os questionários tinham o mesmo nível de dificuldade. Além disso, podemos supor que, apesar da maior familiaridade dos alunos com questões que envolvem movimento e plano inclinado, esse domínio teórico não é considerado mais fácil pelos alunos.

5.4 Questionário sobre a causalidade de determinadas variáveis

Para prosseguirmos na análise do conhecimento conceitual que os estudantes mobilizaram durante a atividade investigativa, apresentamos os resultados do questionário sobre a causalidade de determinadas variáveis. Através desse questionário, os estudantes deveriam julgar a suposta causalidade de cada uma das variáveis independentes envolvidas sobre a variável dependente em cada problema.

Após a análise das respostas dos estudantes, estas foram categorizadas segundo as categorias abaixo:

- ***Resposta correta e justificativa coerente (CC):*** o aluno respondeu corretamente sobre a causalidade da variável e justificou sua opção de forma adequada e fisicamente correta.

Exemplos:

- "A inclinação vai influenciar. Quanto maior a inclinação, maior a aceleração e menor o tempo que a esfera gasta para descer a rampa."
- "Cada líquido tem um calor específico diferente, por isso o tipo do líquido influencia."

- ***Resposta correta e justificativa incoerente (CI):*** o aluno, apesar de responder corretamente sobre a causalidade da variável, justificou sua opção de forma incoerente, incompleta e/ou inadequada.

Exemplos:

- "A distância influencia, pois quanto maior a distância, maior a aceleração da bolinha e mais rápido ela desce a rampa."
- "A massa vai influenciar sim. O bloco com menor massa teria maior calor."

- ***Resposta incorreta e justificativa coerente (IC):*** o aluno respondeu de forma incorreta sobre a causalidade da variável, porém, ao justificar, tornou sua escolha coerente, pois apresentou um mecanismo de causalidade que justificava sua resposta.

Exemplos:

- "A massa é importante. Quanto maior a massa, maior a força peso que atrai a esfera e mais rápido a esfera vai descer."
- "A área de contato influencia. Pois tendo uma área maior em contato com o líquido a troca de calor será diferente se a situação fosse inversa."

- ***Resposta incorreta e incoerente (II):*** o aluno respondeu de forma incorreta sobre a causalidade da variável e ao justificar, apresentou uma resposta incoerente, incompleta e/ou inadequada.

Exemplos:

- "A distância não influencia, pois o tempo será proporcional à distância."
- "De qualquer modo vai alcançar o equilíbrio térmico. Sendo assim, a temperatura do líquido não influencia."

A divisão entre respostas corretas e incorretas é natural. Já a divisão entre justificativas coerentes e incoerentes surgiu para identificarmos os alunos que possuíam um 'senso de mecanismo' mais forte do que os outros. Para diSessa (1993), a função do 'senso de mecanismo' é representar uma base para o raciocínio do indivíduo, que o permita fazer predições e inferências, compreender e atribuir causalidade aos eventos, enquanto o indivíduo não adquire um conhecimento mais específico e estruturado sobre determinado fenômeno.

Nas justificativas categorizadas como coerentes, mesmo naquelas em que a causalidade ou não causalidade das variáveis era erradamente identificada, podia-se perceber uma linha de raciocínio lógico, que guiava as expectativas dos estudantes. Isso não foi identificado, nas justificativas categorizados como incoerentes. Para Schauble (1996), a capacidade de avaliar evidências de covariação como evidências de relações causais parece depender da habilidade do indivíduo em desenvolver pelo menos um mecanismo causal entre as variáveis que seria consistente com as evidências observadas. Além disso, segundo Klahr (2000), muitos indivíduos, sobretudo crianças e adolescentes têm a tendência de formular hipóteses incompletas e incoerentes. Essas hipóteses, por sua ambigüidade e falta de clareza seriam consistentes com uma variedade de resultados. Com isso, é fácil para esses indivíduos interpretarem resultados experimentais diversos como consistentes com sua hipótese inicial. Essa falta de especificidade e coerência no processo de formulação de hipóteses pode também prejudicar o indivíduo na realização de experimentos adequados e consistentes, pois a imprecisão de suas hipóteses impõem menores limitações na busca no campo da experimentação.

As figuras 5.4 e 5.5 apresentam os gráficos com a distribuição das categorias de justificação, de acordo com as variáveis envolvidas, para cada um dos dois domínios teóricos estudados.

Figura 5.4 – Distribuição das categorias de justificação para o domínio do Plano Inclinado

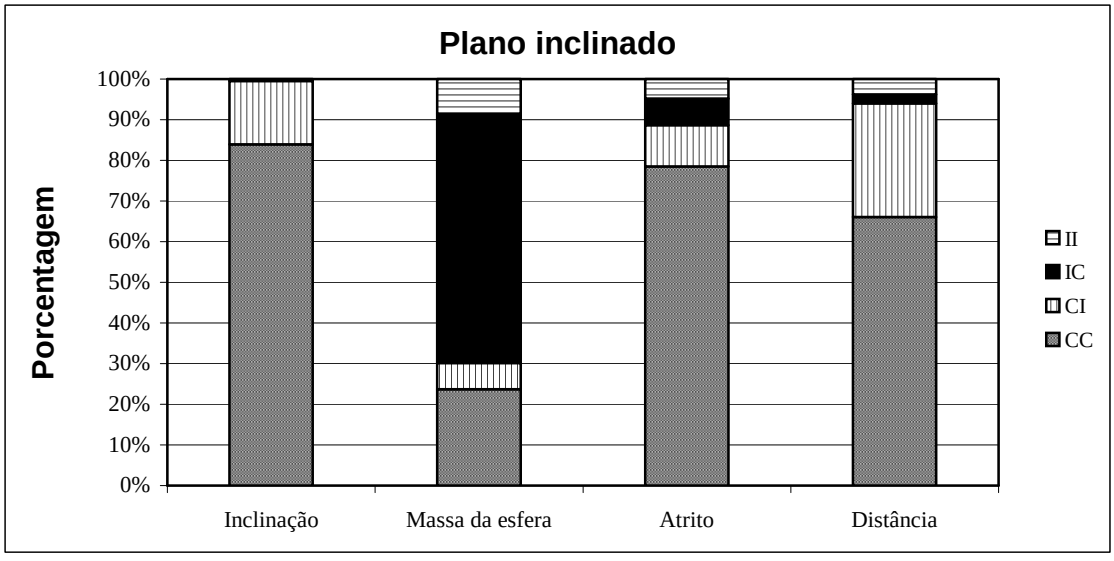
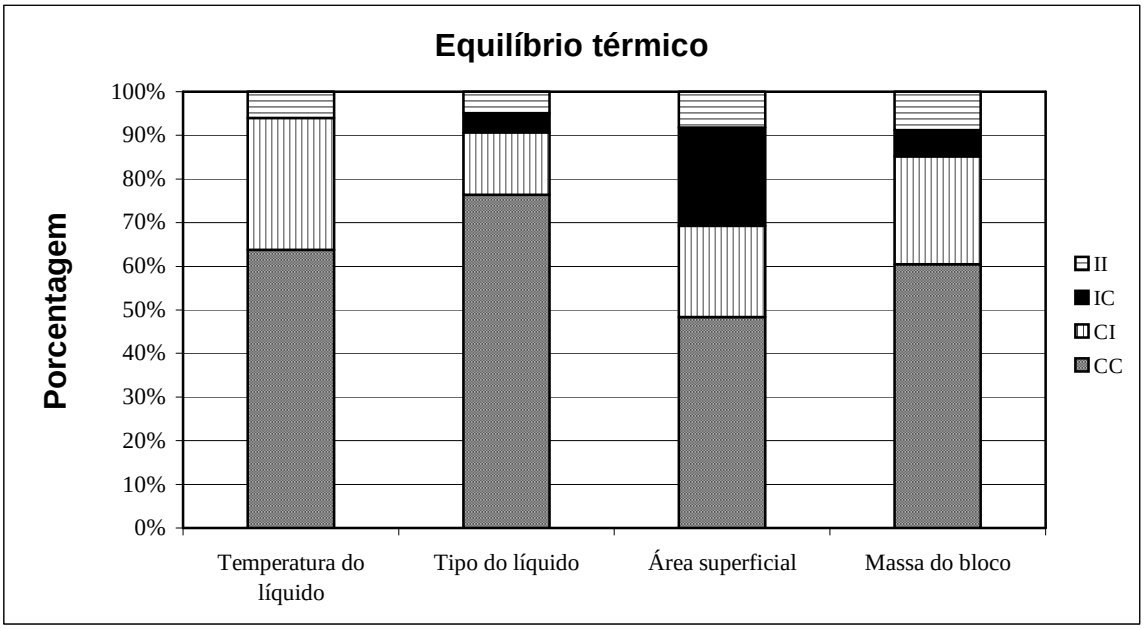


Figura 5.5 – Distribuição das categorias de justificação para o domínio do Equilíbrio térmico



Para o problema do 'Plano inclinado', percebemos que os alunos não tiveram dificuldades em identificar corretamente a inclinação, o atrito e a distância como variáveis causais. Para esse problema, a única variável que gerou mais dúvidas, sendo erroneamente considerada como causal pela maioria dos estudantes (69,9%), foi a massa da esfera.

Dentre as variáveis que compunham o problema do 'Equilíbrio térmico', temperatura do líquido, tipo do líquido e massa do bloco foram identificadas como sendo causais pela maioria dos alunos. Por outro lado, a variável área superficial do bloco gerou certa dúvida entre os estudantes. Apesar da maioria deles (69,2%) acreditar que essa variável não exerceria nenhum efeito sobre a temperatura de equilíbrio do sistema, ainda sim, 21,8% dos estudantes apresentaram justificativas coerentes quando atribuíram a essa variável um status de variável causal.

Esses resultados já eram esperados. No problema do 'Equilíbrio térmico', as três variáveis julgadas pela maioria dos alunos como causais são bastante intuitivas. Como os alunos já tinham estudado durante um trimestre o assunto, alguns deles demonstraram domínio com relação a conceitos como capacidade térmica e calor específico, o que os ajudou bastante durante as justificativas. No problema do 'Plano inclinado' ocorreu a mesma coisa. Tanto a distância, quanto a inclinação e o atrito são variáveis fáceis de identificar como causais para esse tipo de problema, o que não acontece com a massa da esfera. Para desconsiderá-la, o aluno deveria lembrar-se que a aceleração no plano inclinado independe da

massa do corpo, necessitando, assim, de conhecimentos ligados à mecânica e à decomposição de vetores.

5.5 Execução da atividade

Como foi mencionado no capítulo anterior, as atividades investigativas através das simulações computacionais foram executadas em duplas. Salvo as alterações mínimas devido à ausência ou falta do parceiro anterior, as duplas permaneceram inalteradas, ou seja, a mesma dupla executou as atividades investigativas relativas aos dois temas. Quanto ao número de variáveis, não houve um controle rígido de nossa parte, ou seja, os alunos puderam optar por realizar as atividades investigativas que possuíam duas ou quatro variáveis.

Para melhor definirmos a estrutura de análise dos dados contidos nos históricos de investigação das duplas, apresentamos a seguir, resumidamente, a forma como os dados foram coletados. Havia dois temas que abordavam dois domínios teóricos distintos. Cada tema constava de duas investigações, uma com quatro e outra com duas variáveis. A ordem de execução das atividades variou de turma para turma. Com isso, obtivemos oito grupos distintos de alunos, que são apresentados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Informações sobre a execução da atividade investigativa.

Tema	Ordem da atividade	Número de variáveis	Número total de duplas participantes	Número de históricos analisados
Plano inclinado	**1ª Atividade**	**2**	22	19
		4	30	27
	2ª Atividade	**2**	18	16
		4	23	19
Equilíbrio térmico	**1ª Atividade**	**2**	19	15
		4	22	19
	2ª Atividade	**2**	24	20
		4	27	23

Portanto, toda a análise realizada baseou-se na comparação do desempenho dos estudantes com relação ao tema, à ordem e ao número de variáveis da atividade e nossas fontes primárias dos dados foram, justamente, os históricos das investigações das duplas (Anexo D). Os resultados são apresentados a seguir.

Na tabela 5.6, há uma diferença, em cada grupo de alunos, entre o número total de duplas e o número de históricos analisados. Essa diferença ocorreu devido ao processo de identificação, salvamento e recolhimento dos arquivos contendo os históricos, no qual alguns arquivos foram perdidos.

5.5.1 Número de experimentos realizados

O primeiro item de análise diz respeito à quantidade de experimentos realizados. A tabela 5.7 apresenta a média de experimentos realizados pelos oito grupos de estudantes. Pode-se ver que, apesar da média geral de experimentos realizados para a atividade do 'Plano inclinado' (5,5) ter sido superior à da atividade do 'Equilíbrio térmico' (4,9), essa diferença não foi significativa ($F(1,156)=1,99$, $p=0,160$). Essa pequena diferença pode ser justificada pela maior familiaridade que os estudantes possuem com atividades que envolvem movimento do que aquelas que envolvem conceitos ligados à Termologia, o que resultou numa maior liberdade para realizar uma quantidade maior de experimentos.

Tabela 5.7 – Média de experimentos realizados.

Tema	Ordem da atividade	Número de variáveis	Média e desvio padrão do número de experimentos realizados
Plano inclinado	**1ª Atividade**	**2**	5,2 (1,9)
		4	6,3 (3,2)
	2ª Atividade	**2**	3,9 (1,1)
		4	5,9 (2,5)
Equilíbrio térmico	**1ª Atividade**	**2**	3,3 (1,4)
		4	5,5 (2,5)
	2ª Atividade	**2**	3,5 (0,8)
		4	6,7 (2,3)

Com relação ao número de variáveis, a diferença foi significativa ($F(1,156)=35,97$, $p<0,001$). As duplas que realizaram a investigação com quatro variáveis realizaram, em média, mais experimentos do que as duplas que realizaram a atividade com duas variáveis. Esse resultado era esperado, uma vez que o espaço experimental (Klahr e Dunbar, 1988) da atividade com quatro variáveis é bem mais amplo, aumentando o número de combinações possíveis entre as variáveis.

Houve, também, certa diferença no número de experimentos realizados quanto à primeira atividade. Os alunos que realizaram a investigação do 'Plano inclinado' primeiro tenderam a executar mais experimentos do que aqueles que realizaram a atividade do 'Equilíbrio térmico' ($F(1,156) = 3,52$, $p=0,059$).

Finalmente, comparamos a diferença na média de experimentos realizados entre aqueles que executaram a atividade de determinado tema como primeira ou segunda atividade. Para esse critério não foram obtidas diferenças significativas, apesar de percebermos dois comportamentos distintos. Para a investigação do 'Plano inclinado', os alunos que a realizaram primeiro tenderam a executar mais experimentos do que aqueles que a realizaram como a segunda atividade. Já para a investigação do 'Equilíbrio térmico', ocorreu o inverso, os alunos que a executaram como segunda atividade tenderam a realizar, em média, um número maior de experimentos do que aqueles que a executaram como primeira atividade.

5.5.2 Experimentos adequados e consistentes

A cada experimento realizado, o programa da simulação armazenava os valores estipulados pelos alunos para cada variável, além dos comentários e previsões. Pudemos, portanto, através dos históricos, identificar a quantidade de experimentos adequados e consistentes realizados pelas duplas. Na tabela 5.8 estão representados o total de experimentos realizados[15], o total daqueles considerados como adequados e consistentes e a porcentagem para cada grupo de estudantes.

[15] O total de experimentos apresentados na tabela 5.8 desconsidera o primeiro experimento realizado pelas duplas pois, para ele, não cabe a classificação de experimento adequado e consistente ou não. Isso ocorre porque para se classificar um teste experimental como adequado e consistente, deve-se contrastá-lo com algum experimento anterior. Como no primeiro experimento não há como efetuar essa comparação, não podemos incluí-lo nessa classificação.

Tabela 5.8- Número e porcentagem de experimentos adequados e consistentes

Tema	Ordem da Atividade	Número de Variáveis	Número de experimentos adequados e consistentes e total de experimentos[Φ]	Porcentagem de experimentos adequados e consistentes
Plano inclinado	**1ª Atividade**	**2**	66 / 79	83,5
		4	94 / 144	65,3
	2ª Atividade	**2**	35 / 46	76,1
		4	75 / 94	79,8
Equilíbrio térmico	**1ª Atividade**	**2**	31 / 35	91,2
		4	52 / 86	60,5
	2ª Atividade	**2**	39 / 50	78,0
		4	105 / 131	80,2

[Φ]Total de experimentos, desconsiderando-se o 1º experimento.

O que se percebe nos dados da tabela 5.8 é a influência do número de variáveis sobre a porcentagem de experimentos adequados e consistentes, sendo essa diferença significativa ($F(1,156)=11,57$, $p=0,001$), sobretudo devido à grande diferença entre as porcentagens dos grupos de 2 e 4 variáveis da primeira atividade para os dois temas. Já para a segunda atividade, não há diferenças significativas. Pode-se concluir, então, que a quantidade de variáveis envolvidas na investigação afeta a capacidade dos alunos de realizarem testes adequados e consistentes. Este resultado era esperado. Com o aumento do número de variáveis na atividade, a dificuldade de realizar um teste adequado e consistente aumenta, pois o número de variáveis a serem controladas é maior.

Apesar da maior familiaridade dos alunos com assuntos relacionados com o tema do 'Plano inclinado', não houve diferenças significativas ($F(1,156)=0,00$, $p=0,964$) com relação às porcentagens de testes adequados e consistentes entre os temas das atividades.

Quanto às diferenças entre as porcentagens de testes adequados e consistentes entre a primeira atividade e a segunda para o mesmo tema de investigação, os resultados foram os mesmos. Apesar de não serem diferenças significativas, no geral, para os dois temas, os alunos que executaram as atividades de um tema como segunda atividade, tenderam a realizar cerca de 10% a mais de testes adequados e consistentes do que aqueles que as executaram como primeira atividade.

A tabela 5.8 exibe um padrão interessante. Dentro do mesmo tema de investigação, para os grupos de alunos que executaram a atividade com quatro variáveis, há um certo aumento nas porcentagens de testes adequados e consistentes realizados, entre a primeira atividade e a segunda. Já para os grupos de alunos que realizaram as atividades investigativas com duas variáveis, há uma certa redução na porcentagem de testes adequados e consistentes, sendo a diferença final entre os grupos de variáveis, dentro do mesmo tema, para a segunda atividade, praticamente inexistente.

Para medir se houve realmente uma melhora na qualidade das investigações realizadas da primeira atividade para a segunda, analisamos todos os arquivos contendo o histórico da investigação de cada dupla e os classificamos de acordo com as categorias presentes no Quadro 5.2. Essa categorização diz respeito, sobretudo, à exploração do campo experimental e à utilização de testes experimentais adequados e consistentes.

Quadro 5.2 – Categorias utilizadas para classificação das investigações realizadas.

Código e Categoria	Descrição
MB – Muito boa	Quando a dupla realizou pelo menos um teste experimental adequado e consistente para **todas** as variáveis.
B – Boa	Quando a dupla realizou pelo menos um teste experimental adequado e consistente para pelo menos 50% das variáveis.
F – Fraca	Quando a dupla realizou a maioria dos testes experimentais de forma inconsistente e explorou a influência de poucas variáveis.

Na tabela 5.9 está representada a distribuição das porcentagens de duplas, de acordo com as categorias acima estabelecidas para cada tema de investigação, ordem da atividade e número de variáveis envolvidas.

Os números da tabela 5.9 refletem os resultados expressos na tabela 5.8. Aqui também obtemos que a qualidade da investigação realizada pelos alunos melhora com a execução da segunda atividade, sobretudo para o grupo de alunos que realizaram a primeira atividade com quatro variáveis. Comparando-se os grupos de alunos que realizaram as atividades com duas variáveis, percebemos que ocorreu uma melhora apenas para o problema do ‘Equilíbrio térmico’. Esse resultado não surpreendeu, pois nos dois problemas, para os grupos com duas variáveis, já na primeira atividade, quase a totalidade das investigações foi classificada como ‘Muito boa’ ou ‘Boa’.

Tabela 5.9 – Distribuição da porcentagem de duplas de acordo com a qualidade da investigação

Tema	Ordem da Atividade	Número de variáveis	Porcentagem de duplas por categoria de Investigação		
			MB	B	F
Plano inclinado	1ª Atividade	2	79	21	0
		4	41	22	37
	2ª Atividade	2	75	19	6
		4	47	26	26
Equilíbrio térmico	1ª Atividade	2	47	47	6
		4	16	37	47
	2ª Atividade	2	60	30	10
		4	48	39	13

5.6 Questionário final sobre a causalidade das variáveis

Após a execução da atividade investigativa, os alunos responderam a um questionário que abordava a causalidade das variáveis envolvidas na atividade investigativa. Nesse questionário, era solicitado ao estudante que, *tendo em vista os resultados obtidos durante a atividade*, respondesse sobre a influência ou não das quatro variáveis citadas e justificasse sua opção através da explicação de como ele obteve esse resultado. Esse questionário foi importante para identificar mudanças no pensamento do aluno em decorrência da realização da atividade.

Para a análise desse instrumento de pesquisa, foi criado um sistema de categorias inspirado em outras pesquisas (Kuhn, Amsel e O´Loughlin, 1988; Koslowski,1996) e que permite identificar se o aluno baseou suas respostas nos resultados obtidos (respostas baseadas em evidências) ou em próprios conhecimentos (respostas baseadas em teoria). Além disso, permite dizer se o aluno acertou ou não sobre a causalidade das variáveis envolvidas.

As categorias utilizadas foram:

- *Resposta correta, baseada em evidência (**CE**):* quando o aluno responde corretamente sobre a causalidade de determinada variável e, além disso, justifica que o resultado foi obtido através da realização de experimentos durante a realização da atividade investigativa.

Exemplos:

- "Percebi através de simulações que a temperatura final do sistema fica entre a do líquido e a do bloco."
- "Aumentando o atrito, houve um aumento no tempo."
- "Nada se pode afirmar, pois durante a atividade não se podia alterar a inclinação da rampa."

- *Resposta incorreta, baseada em evidência (**IE**):* quando o aluno responde incorretamente sobre a causalidade de determinada variável, mas justifica que o resultado foi obtido através da realização de experimentos durante a realização da atividade investigativa.

Exemplos:

- "Variando a temperatura, ela não influencia, pois o equilíbrio será o mesmo."
- "Quando aumentou-se o valor da massa, variou-se o tempo."

- *Resposta correta, baseada em teoria (**CT**):* quando o aluno responde corretamente sobre a causalidade de determinada variável mas, na justificativa, não menciona que o resultado foi obtido de forma experimental.

- "O tipo do líquido influencia pois cada líquido tem um calor específico diferente."
- "O atrito vai dificultar o deslocamento da bolinha."

- *Resposta incorreta, baseada em teoria (**IT**)*: quando o aluno responde incorretamente sobre a causalidade de determinada variável e, além disso, na justificativa, não menciona que o resultado foi obtido de forma experimental.

Exemplos:

- "A área influencia, pois quanto maior o contato, maior a transferência de calor."
- "O atrito não influencia pois é desprezível."

É importante ressaltar que com esse sistema de categorias evitamos considerar apenas as justificativas baseadas em evidências como as justificativas corretas, o que vem ocorrendo em pesquisas anteriores (Kuhn, Amsel e O´Loughlin, 1988; Amsel e Brock, 1996). Defendemos, assim como Koslowski (1996), que as justificativas baseadas em teoria também são legítimas do pensamento científico. Portanto, consideramos como corretas aquelas respostas que acertaram sobre a causalidade da variável em questão, independentemente da justificativa apresentada.

As figuras 5.6 e 5.7 apresentam, segundo o sistema de categorização estabelecido, os gráficos com a distribuição da freqüência das justificativas categorizadas, de acordo com as variáveis presentes nas duas atividades investigativas.

Notamos que, tanto para o problema do 'Plano inclinado' quanto para o problema do 'Equilíbrio térmico', há diferenças significativas na freqüência de ocorrência das categorias de respostas entre as quatro variáveis que compõem cada um dos problemas ($\chi^2(6)^{16}=44{,}519$, $p<0{,}001$ e $\chi^2(6)^4=30{,}395$, $p<0{,}001$, respectivamente).

Figura 5.6 – Gráfico da distribuição da freqüência de justificativas de acordo com as categorias para a investigação do Plano inclinado

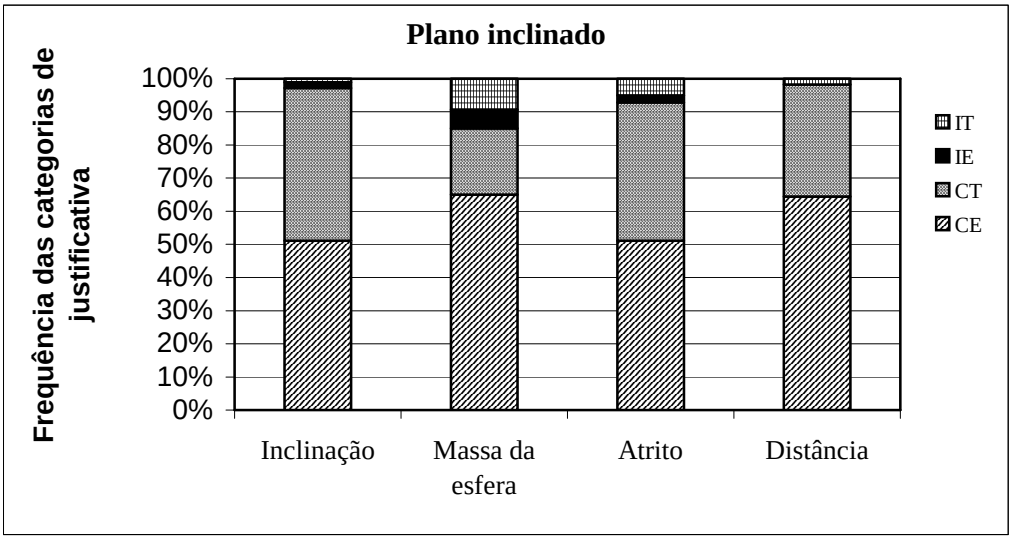
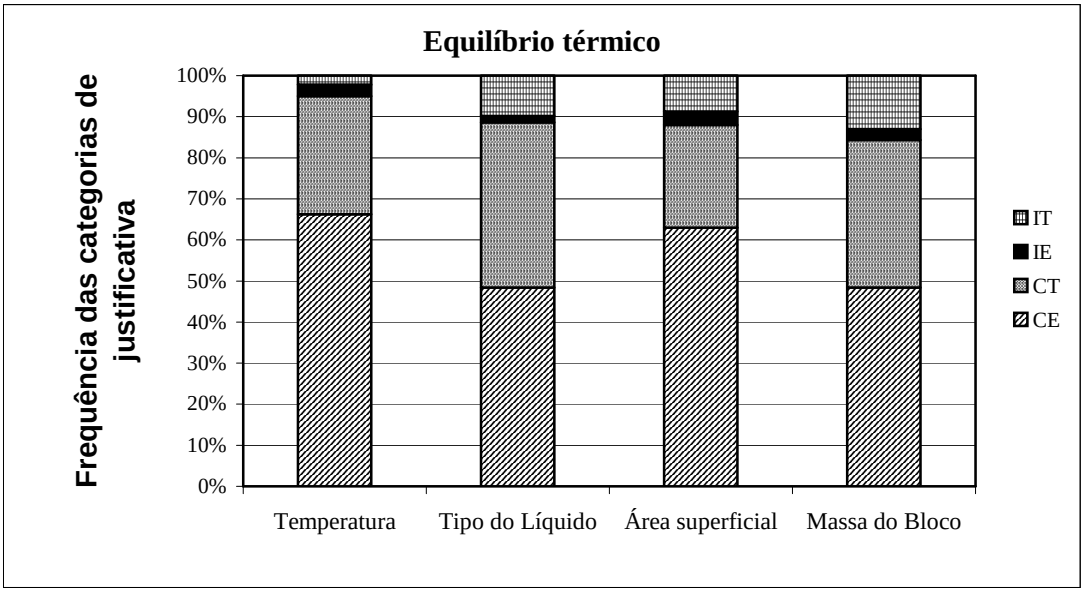


Figura 5.7 – Gráfico da distribuição da freqüência de respostas de acordo com as categorias para a investigação do Equilíbrio térmico



[16] Para a realização do teste do Qui-quadrado para esse conjunto de dados, foi excluída a categoria IE por apresentar várias células com freqüências inferior a 5.

De uma forma geral, muitos estudantes foram capazes de interpretar corretamente os resultados das atividades investigativas e, devido a isso, revisar suas concepções causais iniciais sobre as variáveis envolvidas nos problemas, sobretudo com relação à massa da esfera e à área superficial do bloco, julgadas previamente como causais por parte dos participantes.

Na figura 5.6, percebemos que a distribuição das respostas de acordo com as categorias para as variáveis inclinação da rampa e atrito são semelhantes. As freqüências de ocorrências da categoria **CE** para as variáveis distância e massa da esfera são parecidas e cerca de 15% superior a das demais variáveis. Isso ocorreu porque as variáveis massa da esfera e distância estavam presentes nas duas investigações, com duas e quatro variáveis. Por outro lado, as variáveis atrito e inclinação da rampa estavam presentes como variáveis apenas na investigação com quatro variáveis, sendo fatores constantes na investigação com duas variáveis. Portanto, os alunos que realizaram a atividade com duas variáveis tenderam a utilizar mais as justificativas baseadas em evidências para as variáveis presentes na investigação do que para aquelas mantidas como fatores constantes, para as quais utilizaram seus conhecimentos prévios do domínio teórico para justificar a sua causalidade.

A porcentagem da justificativa **IE** para a variável massa da esfera é superior à soma das demais justificativas do mesmo tipo das outras variáveis. Essa diferença pode ser entendida considerando que a maioria dos estudantes, antes da realização da atividade, acreditava que a massa da esfera influenciava no tempo que a esfera gastava para percorrer a rampa. Portanto, essa concepção dos alunos, aliada a uma incapacidade de executar testes experimentais adequados e consistentes, pode ter sido decisiva para uma interpretação inadequada dos resultados.

Esse padrão também ocorre para o problema do ‘Equilíbrio térmico’. As variáveis temperatura do líquido e área superficial do bloco apresentam distribuições semelhantes, assim como as variáveis tipo do líquido e massa do bloco.

Ao final da atividade, ao responderem ao questionário, sobre a causalidade das variáveis, os alunos tinham a opção de marcar que determinada variável influenciava no resultado, que ela não influenciava, ou que nada se podia afirmar (Anexo E). Vale lembrar que foi solicitado aos alunos que respondessem ao questionário baseados nos resultados obtidos durante a atividade. Para aqueles que realizaram a atividade com duas variáveis, a resposta mais adequada, ao nosso ver, para aquelas variáveis tidas como fatores constantes, era que nada se podia afirmar sobre elas, uma vez que o programa não permitia a alteração de seus valores. Apesar de parte dos estudantes (cerca de 30%) terem reconhecido isso e justificado adequadamente, a maioria deles optou por justificar a opção através de seus

conhecimentos. Não consideramos isso um erro do aluno, pois, como foi discutido no capítulo 3 e ainda veremos na próxima seção, muitos alunos têm dificuldades em apreender o objetivo da atividade. Portanto, acreditamos que muitos alunos não perceberam que tinham que justificar a opção através dos resultados obtidos na atividade, e utilizaram suas concepções para explicar os resultados obtidos.

Porém, apesar de não considerarmos as respostas baseadas em teoria como um erro, é clara a dificuldade dos alunos (e isso pode ser evidenciado pela diferenças nas porcentagens da categoria **CT** entre as variáveis de uma mesma investigação) em compreender, num problema, o que são variáveis, o que são fatores constantes e qual a importância dessa identificação para o planejamento, execução e análise da atividade realizada. Em seu trabalho, Borges e Rodrigues (2004) identificam exemplos de planos de investigações nos quais os alunos identificam variáveis que são irrelevantes para a solução do problema e também planos que tratam fatores constantes como variáveis.

Finalmente, pudemos obter a porcentagem de justificativas que continham, explicitamente, alusão à necessidade de controlar as variáveis ou de realizar testes adequados e consistentes para a obtenção dos resultados. Alguns exemplos dessas justificativas:

- "Quando a inclinação foi variada, deixando-se todos os outros parâmetros fixos, quanto maior a inclinação, menor era o tempo de descida da bola."
- "Fizemos dois experimentos em que somente a massa variou, e o tempo permaneceu constante."
- "Com o resultado do experimento padrão, fizemos outro no qual somente a massa era diferente e houve alteração."

Das 1132[17] respostas, 336 (29,8%) justificaram que para obterem o resultado mantiveram todas as outras variáveis constantes e alteraram apenas a variável em foco. A ocorrência dessas justificativas demonstra que os estudantes que as utilizaram, além de,

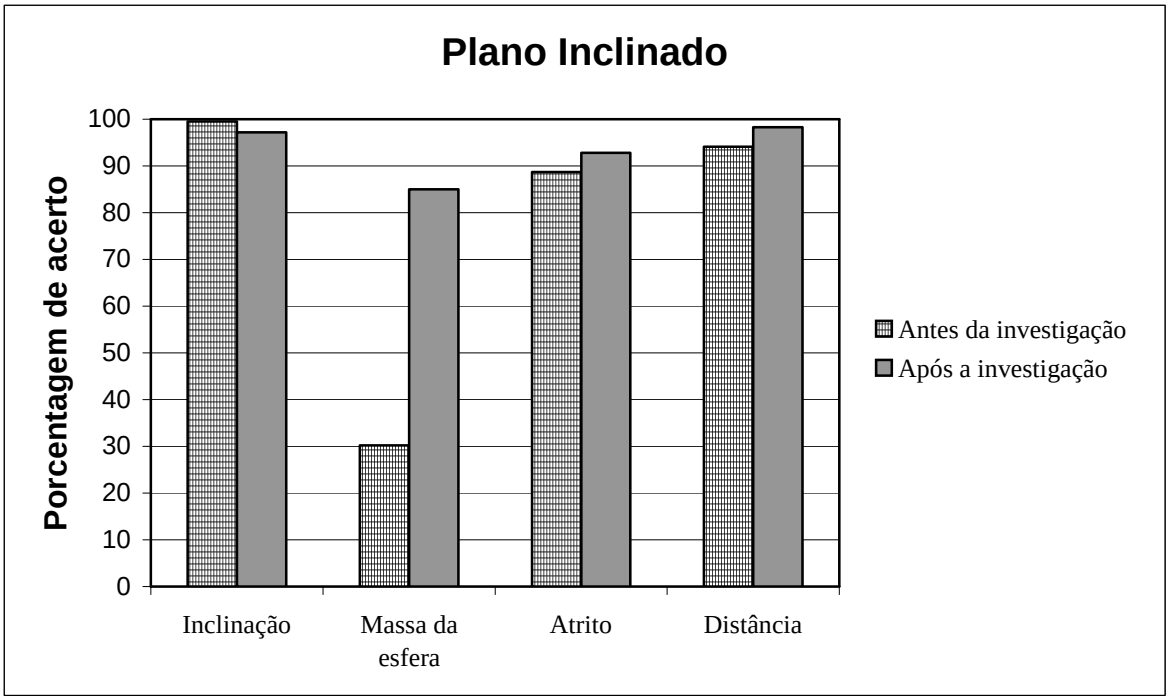
[17] O número de questionários respondidos, para as duas atividades foi 364. Como devia ser dada uma justificativa por variável, o total de justificativas foi 1456. Porém, as atividades investigativas foram executadas com duas ou quatro variáveis. Para as atividades investigativas com duas variáveis, duas outras variáveis eram mantidas constantes, não podendo sofrer variações. Aqueles alunos que executaram a atividade com duas variáveis, ao responderem ao questionário, deveriam ficar atentos para justificar as variáveis mantidas como fatores constantes. Como não poderiam sofrer variações, para essas variáveis, a justificativa que demonstra preocupação com o controle de variáveis é desnecessária e até mesmo inadequada. Portanto, as 1132 respostas foram obtidas, excluindo-se as 324 respostas dadas pelos alunos que executaram as atividades com duas variáveis, para as duas variáveis mantidas como fatores constantes.

provavelmente, terem realizado testes adequados e consistentes durante as atividades investigativas, têm consciência da sua importância para a obtenção de resultados confiáveis.

Desejamos também saber se, com a realização das atividades investigativas, os alunos adquiriram conhecimento específico de domínio. Em diversas pesquisas (Schauble, 1990, 1996; Penner e Klahr, 1996; Chen e Klahr, 1999) o método utilizado para medir a aquisição de conhecimento específico de domínio foi o de é comparar os resultados dos questionários sobre a causalidade das variáveis envolvidas nas investigações antes e depois da realização da atividade.

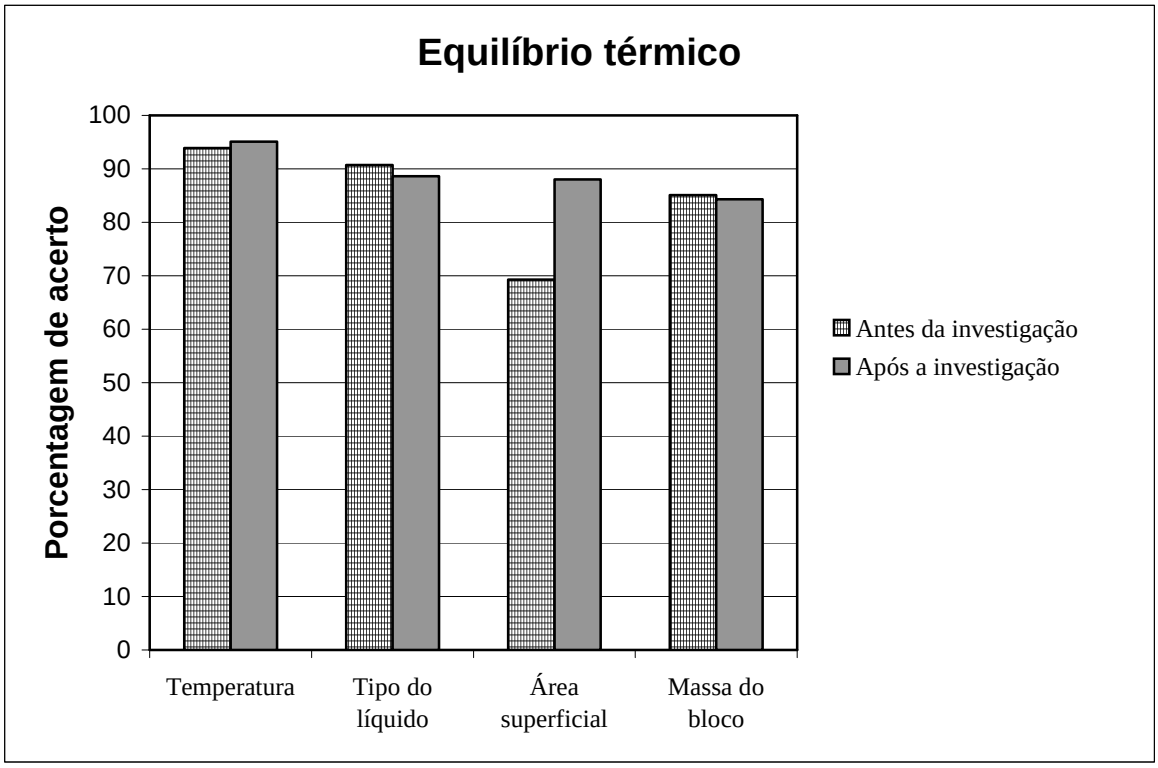
Nas figuras 5.8 e 5.9 estão representados os gráficos com a porcentagem de respostas corretas (**CE** e **CT**) nos dois instrumentos de pesquisa para cada variável envolvida.

Figura 5.8 – Gráfico da comparação entre a porcentagem de acerto antes e depois da investigação.



Notamos que as diferenças entre as porcentagens de acerto da causalidade das variáveis antes e depois da atividade ocorrem nas variáveis massa da esfera, no problema do 'Plano inclinado' e área superficial, no problema do 'Equilíbrio térmico'. Para as demais variáveis, não há diferenças significativas.

Figura 5.9 – Gráfico da comparação entre a porcentagem de acerto antes e depois da investigação.



Percebemos, porém, para as variáveis inclinação da rampa, tipo do líquido e massa do bloco, uma ligeira diminuição na porcentagem de acerto sobre a causalidade dessas variáveis. Tal diminuição pode ser explicada. Para as duplas que realizaram a atividade com apenas duas variáveis, essas variáveis eram fatores constantes. Portanto, seus valores não podiam ser alterados. Ao serem perguntados sobre a influência dessas variáveis, muitos alunos responderam que essas variáveis não influenciariam. Como já foi dito, como a questão solicitava que fossem considerados os resultados obtidos na atividade, a resposta mais adequada seria que não seria possível determinar a influência dessas variáveis. Mas, mesmo considerando essa deficiência dos alunos em perceber as diferenças entre fatores constantes e variáveis, houve uma melhora na avaliação da causalidade de cinco dentre as oito variáveis presentes nas atividades, o que, de certa forma, revela que a atividade contribuiu para essa melhoria.

5.7 O objetivo da atividade

A última atividade da pesquisa consistiu em responder sobre o objetivo da atividade investigativa. A pergunta feita após a resposta a todos os questionários e após a realização das duas atividades investigativas através das simulações computacionais foi: *Você acabou de realizar uma atividade através de uma simulação computacional. Diga, com suas palavras, qual era o objetivo da atividade de simulação que você realizou.*

Foi solicitado aos estudantes que desconsiderassem os questionários e levassem em consideração apenas as atividades com as simulações computacionais. Perguntas desse tipo são importantes, pois levam os alunos a pensarem sobre o que fizeram e ajudam a explicitar qual o real objetivo que eles atribuíram à atividade.

Como vimos, pesquisas (Hart et al., 2000; Sá e Borges, 1999, 2001) indicam que estudantes possuem certa dificuldade em compreender corretamente os objetivos das atividades propostas, o que pode contribuir para comprometer o seu desempenho durante as mesmas. Comparando as respostas dos estudantes, ou seja, os objetivos por eles entendidos com o previamente proposto, pudemos avaliar o grau de 'degradação' que o objetivo da atividade sofreu e, assim, buscar entender os procedimentos e as estratégias que os estudantes utilizaram para resolvê-la.

Os objetivos das atividades investigativas realizadas através do computador foram enunciados de forma explícita. Para o problema do 'Equilíbrio térmico' era determinar quais as variáveis envolvidas influenciam a temperatura de equilíbrio do sistema. Para o problema do 'Plano inclinado', o objetivo era determinar quais as variáveis envolvidas influenciam o valor do tempo que a esfera gasta para descer a rampa.

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 et al, 1998) e numa leitura preliminar de todo conjunto de dados para verificar a adequação do sistema criado. As categorias de resposta à pergunta sobre o objetivo da atividade realizada estão no quadro 5.3.

Quadro 5.3 - Categorias de resposta à pergunta sobre o objetivo da atividade realizada.

Código	Categoria
C	Objetivo Correto
E1	Confirmar hipóteses/ teorias
E2	Obter determinado resultado
E3	Avaliar o conhecimento do aluno
E4	Realizar experimentos virtualmente
E5	Obter conhecimento através da prática
E6	Outros objetivos diversos

C *– Objetivo correto*

Consideramos como objetivo correto, a resposta em que constava ao menos um dos objetivos acima citados. Normalmente, grande parte das respostas classificadas como correta referia-se corretamente aos objetivos da última atividade realizada. Pouquíssimos alunos referiram-se às duas atividades.

Exemplos:

- "Verificar quais são as grandezas físicas que interferem no tempo gasto para a esfera percorrer a rampa."
- "O objetivo era identificar os fatores que influenciam na temperatura final do sistema."

E1 *– 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.

Exemplo:

- "Comprovar e explicar as hipóteses ou opiniões que tínhamos sobre o assunto."
- "O objetivo era de comprovar e entender as idéias que eu levantei no questionário anterior."
- "Comprovar se o meu pensamento quanto a variação de massa e distância estavam certos."

***E2** – Obter um determinado resultado*

Para muitos alunos, as atividades experimentais têm apenas o objetivo de "dar certo", ou seja, de obter determinados resultados que, normalmente, já são esperados.

Exemplo:

- "De saber a temperatura final dos sistemas entre líquido e bloco."
- "Provar quais são as temperaturas médias, as menores e as maiores."

***E3** – Avaliar o conhecimento do aluno*

Alguns alunos responderam que a atividade realizada tinha como objetivo avaliar seu conhecimento, ou seja, o que eles sabiam sobre os domínios teóricos em questão. Nesse caso, a maioria dos alunos referiu-se aos conhecimentos conceituais, e não, procedimentais.

Exemplos:

- "Testar nossos conhecimentos de uma maneira prática."
- "O objetivo de qualquer experimento é ver o que a gente sabe sobre a matéria."

***E4** – Realizar experimentos virtualmente*

As atividades investigativas foram realizadas através de simulações computacionais ao invés de manipulação de equipamentos. Por isso, alguns alunos identificaram como objetivo essa maneira diferente de realizar uma atividade experimental.

Exemplo:

- "Fazer experimentos que nós fazíamos realmente, virtualmente."
- "O objetivo era fazer nossa previsão, especificar a temperatura, e através do proceder do experimento escrever nossas observações e conclusões. Isso tudo pelo computador."

***E5** – Obter conhecimento através da prática*

As respostas classificadas aqui referiram-se ao aprendizado que os alunos tiveram com a realização da atividade. Alguns alunos responderam de maneira vaga e curta e outros foram bastante específicos sobre o aprendizado de conhecimentos conceituais.

Exemplos:

- "Aprender mais sobre rampas e temperatura."
- "Sempre acho que o maior objetivo de qualquer experiência é dar conhecimento."

E6 *– Outros objetivos diversos*

Varias respostas não puderam ser classificadas em nenhuma outra categoria. Algumas eram respostas aleatórias, sem sentido. Outras possuíam uma visão bem particular de algum aspecto da atividade realizada.

Exemplo

- "Ajudar o Alessandro para a dissertação de Mestrado."
- "Entender na prática o que acontecia com os materiais."

Todas as 181 respostas foram categorizadas segundo esse sistema de categorias. A tabela 5.9 abaixo relaciona o número de respostas e porcentagem total para cada uma das categorias.

Tabela 5.10 - Numero e porcentagem total de resposta por categoria.

Categoria	Número de alunos e porcentagem
C	108 (59,7)
E1	23 (12,7)
E2	11 (6,1)
E3	6 (3,3)
E4	5 (2,8)
E5	4 (2,2)
E6	24 (13,3)
Total	181 (100)

Nossa primeira constatação refere-se à relativa dificuldade de entendimento dos objetivos das atividades pelos alunos. Apenas cerca de 60% deles identificaram corretamente o objetivo da atividade, mesmo após a realização de duas atividades investigativas com os mesmos objetivos.

Vale a pena ressaltar que essa dificuldade dos alunos em relação ao entendimento dos objetivos já havia sido detectada durante o desenvolvimento das atividades. Na tela inicial da simulação computacional (que os alunos foram instruídos a ler cuidadosamente) havia a descrição da atividade, com os todos as informações necessárias para sua realização, inclusive com o objetivo. Mas, mesmo com a tela de apresentação e com as explicações orais fornecidas, muitas duplas, após a realização de algumas coletas de dados, ainda perguntavam sobre o objetivo da atividade.

Como foi dito anteriormente, a visão confirmatória do laboratório escolar ou seja, a atribuição ao objetivo da atividade de comprovar uma determinada hipótese ou teoria é bem

disseminada entre os estudantes. Cerca de 31,5 % dos alunos que responderam incorretamente sobre os objetivos da atividade utilizaram a categoria **E1**. 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. As atividades desenvolvidas hoje visam, em sua maioria, 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 (Categoria **E2**).

Um dos motivos apontado pela literatura para explicar o baixo desempenho dos estudantes durante a realização das atividades de laboratório é justamente que os estudantes freqüentemente não conhecem os propósitos destas atividades. Tamir (1991), assim como outros pesquisadores (Sá e Borges, 2001; Hart et al., 2000), afirma que o objetivo percebido pelos alunos para a atividade prática é diferente do objetivo imaginado pelo professor e que os alunos não conseguem entender a relação entre o propósito da atividade e os procedimentos executados durante a sua realização.

5.8 Questões norteadoras

O primeiro capítulo de apresentação e análise dos dados teve como objetivo analisar em profundidade, porém, de forma isolada, os dados gerados pelos diversos instrumentos de pesquisa utilizados. Esses resultados obtidos até aqui compõem apenas uma parcela do objetivo geral dessa dissertação que é o de caracterizar o conhecimento e as estratégias que estudantes utilizam ao realizar uma atividade investigativa e como se dá a influência e a interdependência dos conhecimentos conceituais e procedimentais dos alunos ao longo do desenvolvimento da atividade. Portanto, além de fornecer subsídios para responder às questões da pesquisa, essa análise isolada e em profundidade do material empírico forneceu condições de levantarmos algumas outras questões:

- Como o desempenho acadêmico do estudante e o conhecimento de domínio influenciam na capacidade de reconhecer testes experimentais adequados e consistentes?
- Como o modelo de causalidade entre as variáveis envolvidas no problema e os resultados experimentais parciais influenciam durante a realização da atividade?

- Os alunos que reconheceram os testes adequados e consistentes também aplicaram esses testes durante a atividade investigativa?
- Em que medida a má compreensão dos objetivos da atividade realizada influenciou nas estratégias e no desempenho dos alunos durante a realização da atividade investigativa?

Acreditamos que ao respondermos a essas questões, estaremos em condições de responder às nossas questões de pesquisa, sobretudo, sobre a influência dos quatro aspectos que caracterizam o conhecimento mobilizado pelo aluno (objetivo da atividade, resultados parciais, modelo de causalidade e conhecimento do domínio) no reconhecimento e na execução de testes experimentais adequados e consistentes. É com o intuito de responder a essas questões que propomos as análises efetuadas no capítulo seguinte.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS II

6.1 Considerações iniciais

No capítulo anterior, foram apresentados os resultados dos diversos instrumentos de pesquisa. A análise realizada, apesar de profunda, ocorreu de forma isolada, procurando identificar os resultados relevantes de cada um dos instrumentos, sem a preocupação de relacioná-los.

O objetivo principal desse capítulo é enriquecer a análise do material empírico. Para tanto, responderemos as questões levantadas a partir da análise dos resultados obtidos com a aplicação de cada instrumento de pesquisa e relacionaremos esses resultados, para que possamos definir e caracterizar tanto as estratégias e o conhecimento mobilizados pelos estudantes ao realizarem uma atividade investigativa quanto como se dá a influência dos aspectos que caracterizam o conhecimento (objetivo da atividade, resultados parciais, modelo de causalidade e conhecimento do domínio) durante todo o processo de investigação.

6.2 Análise das questões levantadas

Como o desempenho acadêmico do estudante e o conhecimento de domínio influenciam na capacidade de reconhecer testes experimentais adequados e consistentes?

Para procedermos a essa análise, obtivemos, junto a cada professor das turmas do 1º ano do ensino médio, as notas dos alunos referentes às duas primeiras provas trimestrais. Utilizamos as notas das provas trimestrais como indicativo do desempenho acadêmico dos alunos em Física, pois essas provas eram as mesmas para todos os alunos e corrigidas por uma mesma equipe de professores.

Quanto ao conhecimento de domínio, utilizamos as notas obtidas nos questionários aplicados. Para cada um desses conjuntos de notas, dividimos os alunos de acordo com o desempenho em três sub-turmas, considerando os quartis calculados:

- Sub-turma 1 – (ST1) – Alunos cujo rendimento esteja abaixo do primeiro quartil (Q1);
- Sub-turma 2 – (ST2) – Alunos cujo rendimento esteja entre o terceiro quartil (Q3) e Q1;
- Sub-turma 3 – (ST3) – Alunos cujo rendimento esteja acima de Q3;

Os quartis são pontos que dividem a distribuição em quartos. Fazendo a contagem na lista ordenada das notas nos questionários e nas provas trimestrais, a partir da menor nota, o primeiro quartil (Q1) ocupa o posto percentil 25, ou seja, 25% das notas são iguais ou inferiores a ele. O terceiro quartil (Q3) ocupa o posto percentil 75, ou seja, 75% das notas são iguais ou inferiores a ele. Na prática, a divisão de um conjunto de notas de acordo com os quartis divide esse conjunto em três sub-turmas distintas. A primeira sub-turma compreende 25% do total de alunos e pertencem a essa sub-turma os alunos com notas inferiores. Da segunda sub-turma pertencem 50% do total de alunos, com notas medianas. Finalmente, fazem parte da terceira sub-turma, os 25% dos alunos com notas superiores.

A tabela 6.1 apresenta, para cada sub-turma, de acordo com a avaliação utilizada, a média de justificativas classificadas como **C1** no teste sobre reconhecimento de testes adequados e consistentes (seção 5.2). A ocorrência da justificativa **C1** indica que, além de demonstrar preocupação explícita sobre questões que envolvem o controle de variáveis, o aluno demonstrou preocupação com o objetivo da atividade.

Podemos ver que há uma grande dependência do desempenho nas provas trimestrais e nos questionários aplicados com a média de ocorrência das justificativas **C1**. Isso aponta para a dependência da capacidade de reconhecer testes adequados e consistentes com o desempenho acadêmico do estudante. Os alunos que obtiveram maiores notas, em todas as avaliações, tenderam a justificar mais adequadamente o teste sobre o reconhecimento de testes adequados e consistentes.

A diferença entre as médias de ocorrência de justificativas **C1** para as sub-turmas das provas trimestrais foi significativa entre as três sub-turmas[18] ($F(2,182)=14,89$, $p<0,001$). Para o questionário sobre ‘Plano inclinado’, as médias de ocorrência de justificativas **C1** também foram significativamente diferentes ($F(2,181)=11,55$, $p<0,001$). Porém, a maior diferença é entre a média da sub-turma ST1 e as demais, enquanto a diferença entre as médias das sub-turmas ST2 e ST3 não são estatisticamente significantes. O mesmo acontece para as sub-turmas do questionário sobre ‘Equilíbrio térmico’. A diferença entre as médias das sub-turmas

[18] Para a análise das diferenças entre as sub-turmas dessa avaliação e das outras, foi utilizado o método de Tukey.

ST2 e ST3 não é significativa, mas em relação à média da sub-turma ST1, que é bem inferior, a diferença passa a ser significativa ($F(2,176)=20,12$, $p<0,001$).

Assim, as diferenças entre as médias das sub-turmas ST2 e ST3 são menores em relação às diferenças entre as médias das sub-turmas ST1. Ou seja, os alunos medianos e com desempenho acadêmico superior não apresentam diferenças significativas. Porém, os alunos com desempenho inferior à média, têm mais dificuldades com relação a aspectos que são fundamentais para o reconhecimento da importância do controle de variáveis e de situações que ocorram testes adequados e consistentes.

Tabela 6.1 – Média de justificativas C1 de acordo com as sub-turmas de rendimento escolar

Avaliação	Sub-turmas	Número de alunos	Média e desvio padrão das justificativas classificadas como C1
Provas Trimestrais	**ST1**	42	3,3 (2,8)
	ST2	96	5,3 (2,9)
	ST3	47	6,4 (2,2)
Questionário sobre 'Plano inclinado'	**ST1**	46	3,7 (3,4)
	ST2	92	5,3 (2,6)
	ST3	46	6,4 (2,2)
Questionário sobre 'Equilíbrio térmico'	**ST1**	43	3,0 (2,5)
	ST2	90	5,5 (2,8)
	ST3	46	6,4 (2,5)

Portanto, há indícios, assim como em pesquisas anteriores (Borges, Borges e Vaz, 2001; Gomes e Borges, 2002), que alunos que apresentam um melhor rendimento escolar apresentam também um maior domínio de uma estratégia mais adequada de controle de variáveis e conseguem, mais facilmente, reconhecer e justificar situações em que ocorram ou não testes adequados e consistentes. Tal fato pode também ser explicado de maneira inversa: os alunos que possuem um modelo adequado de causalidade entre variáveis e dominam estratégias adequadas de controle de variáveis têm maiores possibilidades de compreender sistemas multicausais e problemas relacionados à Física, Química e Matemática, obtendo, assim, melhores rendimentos escolares. Assim, o aumento na sofisticação do pensamento científico, quer em crianças ou em adolescentes, envolve a mudança de estratégia e o desenvolvimento do conhecimento. Isso corrobora a visão de Schauble (1996) de que

> "o raciocínio apropriado suporta a escolha de uma estratégia apropriada de investigação e a estratégia de investigação válida e sistemática suporta o desenvolvimento de um conhecimento mais apurado e complexo." (Schauble, 1996, p.118).

Como o modelo de causalidade entre as variáveis envolvidas no problema e os resultados experimentais parciais influenciam durante a realização da atividade?

Pesquisas (Penner e Klahr, 1996; Schauble, 1996) indicam que o modelo de causalidade entre as variáveis envolvidas no problema é fator decisivo para a definição do foco de pesquisa dos estudantes. Segundo essas pesquisas, o conhecimento prévio do indivíduo guia suas explorações experimentais iniciais, definindo e delimitando o problema e destacando variáveis a serem investigadas, enquanto que a interpretação dos resultados parciais da experimentação contribui para modificar e ajustar o foco da investigação. Portanto, os indivíduos, normalmente, não 'repartem' de forma igualitária o seu tempo e esforços entre as diversas variáveis que compõem o problema. Ao contrário, durante as investigações, concentram-se mais em determinadas variáveis e menos em outras. Portanto, respondendo a essa questão, buscamos explorar um importante aspecto da relação entre as concepções prévias dos estudantes e suas estratégias em uma atividade investigativa: como essas concepções afetam suas observações, as interpretações e avaliações de evidências ao longo da atividade.

Para isso, consideramos a quantidade de experimentos adequados e consistentes realizados pelos grupos de alunos por variável envolvida. Como nesse tipo de experimento apenas os valores da variável cujo efeito se deseja determinar são alterados e as demais são mantidas constantes, apenas através desses experimentos podemos afirmar, com certeza, qual o real foco de atenção dos estudantes. Os dados obtidos estão na tabela 6.2.

Para a investigação sobre o 'Plano inclinado', podemos relacionar dos dados da tabela 6.2 com o gráfico da figura 5.4: a variável massa, cuja expectativa de causalidade era, erradamente, forte entre os participantes da pesquisa, foi o principal foco de atenção dos estudantes.

Para a investigação sobre o 'Equilíbrio térmico', os focos principais de atenção dos estudantes foram as variáveis área superficial do bloco (também identificada por cerca de 30% dos participantes como causal – figura 5.5), massa do bloco e o tipo do líquido, variáveis identificadas facilmente como causais.

Tabela 6.2 – Foco de atenção dos estudantes durante os experimentos adequados e consistentes

Tema	Quantidade de Variáveis	Número de duplas	Variáveis	Número de experimentos adequados e consistentes
Plano inclinado	**2**	35	**Massa da esfera**	**62**
			Distância	**39**
	4	46	**Massa da esfera**	**55**
			Distância	**39**
			Atrito	**40**
			Inclinação	**35**
Equilíbrio térmico	**2**	35	**Área superficial**	**36**
			Temperatura	**34**
	4	42	**Área superficial**	**35**
			Temperatura	**24**
			Massa do bloco	**46**
			Tipo do Líquido	**52**

Pesquisas anteriores (Kuhn, Amsel e O´Loughlin, 1988; Schauble, 1990; Kuhn, Black, Kaselman e Kaplan, 2000) sugerem que as variáveis identificadas previamente como não-causais, não são devidamente exploradas na fase de investigação, recebendo pouca atenção dos estudantes. Em nosso trabalho, o fato de as variáveis massa da esfera e área superficial do bloco terem sido focos importantes de atenção dos estudantes pode ser explicado. As demais variáveis envolvidas nos dois problemas (distância, inclinação e atrito, para o problema do 'Plano inclinado' e temperatura, massa do bloco e tipo do líquido, para o problema do 'Equilíbrio térmico') eram bastante intuitivas e não apresentavam dificuldades para que os estudantes considerassem-nas causais. Isso pode ser comprovado pela elevada porcentagem de respostas corretas para essas variáveis nas figuras 5.4 e 5.5.

Na investigação do 'Plano inclinado', se dividirmos o número de experimentos adequados e consistentes de cada variável pelo número de duplas, obteremos valores menores do que 1 para as três variáveis no grupo de quatro variáveis (distância, inclinação e atrito). No grupo de duas variáveis, obtemos 1,1 para a variável distância e 1,8 para a variável massa.

Na investigação do 'Equilíbrio térmico', se procedermos da mesma forma, obteremos valores menores do que 1 para as variáveis área superficial e temperatura no grupo de 4 variáveis e para a variável temperatura, no grupo de 2 variáveis.

Tais resultados demonstram que houve duplas que nem testaram o efeito das variáveis consideradas previamente causais (aquelas com maiores porcentagens de respostas corretas nas figuras 5.4 e 5.5) provavelmente por já confiarem que elas eram causais e dedicaram sua atenção às variáveis sobre as quais se sentiam menos confiantes.

Analisando os históricos das duplas, percebemos também a influência que os resultados parciais obtidos exerciam sobre os participantes, em semelhança aos resultados obtidos por Tschirgi (1980). Muitas duplas, ao obterem resultados esperados, como a influência do tipo de líquido na temperatura final do sistema na investigação do 'Equilíbrio térmico', por exemplo, repetiam os experimentos modificando apenas essa variável, na esperança de obter mais resultados esperados. Assim, foi comum obtermos históricos em que as duplas executavam apenas dois ou três experimentos adequados e consistentes para determinada variável considerada previamente causal e não exploravam as outras variáveis. Esse comportamento nos leva a refletir sobre quais as concepções de experimentação e quais os objetivos atribuídos às atividades práticas que essas duplas sustentam. Provavelmente, essas duplas vêem a experimentação como forma de obter resultados esperados ou de provar determinada teoria.

Um comportamento distinto ocorreu, sobretudo, com as variáveis massa da esfera na investigação do 'Plano inclinado' e área superficial do bloco na investigação sobre 'Equilíbrio térmico'. Ao obterem resultados que não confirmavam suas expectativas, algumas duplas repetiam, incessantemente, experimentos adequados e consistentes cujo foco de atenção era apenas essas variáveis e deixavam as outras variáveis de lado. Inclusive, houve uma dupla que escreveu, ao final da atividade, que o programa de simulação continha algum problema, pois eles variavam a massa da esfera e não obtinham tempos de descida da esfera diferentes. Esse comportamento também pode ser atribuído, talvez, a uma visão distorcida do processo de experimentação bastante comum entre os estudantes: aquela cujo objetivo da experimentação é o de comprovar determinado fenômeno ou teoria. Como muitos acreditavam que as variáveis massa da esfera e área superficial do bloco influenciavam nos resultados das investigações, o objetivo implícito para muitas duplas era provar que isso era verdade. A maioria das duplas mudou de opinião durante a atividade, percebendo que essas variáveis realmente não influenciavam no resultado. Porém, algumas duplas, principalmente aquelas que falharam em executar os testes adequados e consistentes, ao final da atividade, ainda sustentavam que tais variáveis eram causais.

Esses resultados fornecem indícios de que não apenas a natureza dos resultados parciais obtidos, mas também a visão sobre a experimentação e de seus objetivos, influenciam

na escolha de estratégias para gerar novos experimentos e, sobretudo, no foco de atenção dos estudantes sobre as variáveis envolvidas durante a atividade investigativa.

Os alunos que reconheceram os testes adequados e consistentes também aplicaram esses testes durante a atividade investigativa?

Para tentarmos obter a relação entre a capacidade dos alunos em identificar e reconhecer situações nas quais ocorrem ou não os testes adequados e consistentes e a utilização desses testes durante as atividades investigativas para a resolução dos problemas propostos, utilizamos o número de respostas de cada aluno categorizadas como **C1** no teste sobre o reconhecimento de testes adequados e consistentes[19]. Novamente, dividimos os alunos de acordo com seu desempenho neste teste em três sub-turmas, considerando os quartis calculados:

- Sub-turma 1 – (ST1) – Alunos cujo rendimento esteja abaixo do primeiro quartil (Q1);
- Sub-turma 2 – (ST2) – Alunos cujo rendimento esteja entre o terceiro quartil (Q3) e Q1;
- Sub-turma 3 – (ST3) – Alunos cujo rendimento esteja acima de Q3;

Na tabela 6.3, estão representadas as porcentagens médias de experimentos adequados e consistentes utilizadas nas duas investigações para cada uma das sub-turmas acima.

Tabela 6.3 – Relação entre o reconhecimento e utilização de testes adequados e consistentes.

Atividade	**Sub-turmas**	**Porcentagem média de testes adequados e consistentes**	
		'Plano inclinado'	**'Equilíbrio térmico'**
Teste sobre o reconhecimento de testes adequados e consistentes	**ST1**	59%	63%
	ST2	77%	74%
	ST3	84%	86%

Para as duas investigações, há diferenças significativas na porcentagem média de utilização de testes adequados e consistentes com relação ao desempenho no teste

[19] Nessa seção, daqui para frente, nos referiremos a esse instrumento de pesquisa apenas como teste.

($p<0,012$)[20]. Em geral, aqueles alunos que reconheceram os testes adequados e consistentes e justificaram adequadamente no teste, tenderam a executar, em média, maior porcentagem desses experimentos durante a realização das atividades investigativas.

Para a investigação do 'Plano inclinado', a diferença significativa ocorre entre a baixa porcentagem média da sub-turma ST1 com relação às sub-turmas ST2 e ST3. Para a investigação do 'Equilíbrio térmico', a diferença é significante entre as sub-turmas ST1 e ST3.

A correlação entre a porcentagem média de testes adequados e consistentes para as duas investigações é 0,505. Essa correlação alta e significativa ($p<0,001$), juntamente com o desempenho semelhante das sub-turmas nas duas investigações, apontam para duas considerações importantes. A primeira reforça os resultados obtidos na seção 5.5.2 de que não há diferenças significativas na utilização de testes adequados e consistentes entre as duas investigações e que o desempenho dos alunos não sofreu grandes modificações com a mudança do domínio teórico. A segunda indica que os alunos que utilizaram testes adequados e consistentes em uma atividade muito provavelmente também os utilizaram na outra atividade, obtendo, assim, uma certa transferência na capacidade de executar os testes adequados e consistentes.

Esperávamos que essa relação existisse. Na atividade do reconhecimento dos testes adequados e consistentes, quando o aluno tinha a maioria de suas respostas categorizadas como **C1**, isso indicava que o aluno compreendia perfeitamente a lógica da experimentação e podia-se perceber sua preocupação e o seu entendimento em relação ao controle de variáveis e aos objetivos propostos. Portanto, para esse aluno, passar do reconhecimento para a implementação desses testes adequados e consistentes é um passo natural e que foi realizado, como demonstram os resultados, sem maiores problemas.

Em que medida a má compreensão dos objetivos da atividade realizada influenciou nas estratégias e no desempenho dos alunos durante a realização da atividade investigativa?

A análise dos arquivos contendo os históricos das investigações realizadas permitiu identificar que, em diversos momentos, várias duplas atribuíram objetivos diferentes daqueles

[20] Para a análise das diferenças entre as sub-turmas dessa avaliação e das outras, foi utilizado o método de Tukey.

propostos às atividades, muitos dos quais bastante distantes e diferentes dos objetivos originalmente propostos.

Antes de cada experimento, como vimos no capítulo 4, os estudantes deveriam justificar os valores estipulados para as variáveis e fazer uma previsão sobre o resultado. Em vários históricos pudemos identificar respostas como:

- "Ver o tempo máximo que a esfera demora para percorrer a rampa".
- "Maior temperatura possível entre as variáveis".
- "Esperamos que faça o percurso mais demorado possível".

A ocorrência dessas respostas remete aos resultados obtidos por Schauble, Klopfer e Raghavan (1991) de que os alunos, muitas vezes, desconsideram os objetivos da atividade e consideram outros mais práticos, característica do "modelo de engenharia" de investigação. Porém, o fato de considerar objetivos mais práticos em si não impede os alunos de realizar a atividade satisfatoriamente, desde que sejam tomados certos cuidados e que os alunos executem os testes adequados e consistentes para identificar as variáveis que realmente interferem na variável dependente.

Para avaliarmos o efeito que o reconhecimento dos objetivos das atividades investigativas exerceu sobre os participantes, dividimos os alunos em dois grupos: aqueles que identificaram corretamente o objetivo da atividade (**OC**) e aqueles que não o fizeram (**OI**). Para compor o grupo OI, diferentemente da seção 5.7, todas as categorias referentes à identificação errônea dos objetivos das atividades foram agrupadas nesse grupo, sem distinção.

A tabela 6.4 relaciona vários critérios de análise do desempenho ao longo da atividade para os dois grupos de alunos considerados. Percebe-se que o desempenho do grupo de alunos que identificou corretamente os objetivos das atividades investigativas foi superior em todos os critérios analisados, sobretudo na média das provas trimestrais ($F(1,179) = 19{,}71$, $p < 0{,}001$).

O desempenho durante as atividades investigativas também sofreu a influência da identificação correta dos objetivos da atividade. Para as duas investigações, o grupo de alunos que identificou corretamente os objetivos tendeu a utilizar mais experimentos adequados e consistentes, sendo a diferença entre os grupos, marginalmente significante ($p < 0{,}063$).

Tabela 6.4 – Desempenho dos grupos segundo a identificação dos objetivos da atividade

Critérios	Grupos de alunos	
	OC	**OI**
Média nas Trimestrais	64%	52%
Média no Questionário sobre 'Plano inclinado'	63%	60%
Média no Questionário sobre 'Equilíbrio Térmico	67%	57%
Média de justificativas C1 no teste de reconhecimento de testes adequados e consistentes	5,6	4,6
Porcentagem de experimentos adequados e consistentes na investigação 'Plano inclinado'	79%	68%
Porcentagem de experimentos adequados e consistentes na investigação 'Equilíbrio térmico'	79%	69%

O desempenho superior dos alunos que identificaram corretamente os objetivos das atividades investigativas em todos os critérios demonstra que, provavelmente, parte daqueles que atribuíram outros objetivos às atividades investigativas também não identificou os objetivos corretos das demais atividades, obtendo, portanto, um desempenho inferior. Isso nos leva a acreditar que a capacidade de compreensão e abstração dos objetivos de atividades, questões e problemas parece depender não apenas das características específicas de cada atividade, mas também das estruturas cognitivas do indivíduo. Para as atividades que compuseram a pesquisa, a identificação dos objetivos parece estar relacionada, dentre outros aspectos, à capacidade de leitura e interpretação de texto, à atenção dispensada durante a explicação da atividade, ao conhecimento do domínio teórico da atividade e à visão de Ciência e de experimentação dos participantes.

7 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Neste capítulo final, apresentamos os principais resultados da pesquisa. Com base nesses resultados, fruto das análises realizadas nos capítulos 5 e 6, 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.

O estudo que propusemos desenvolver tinha como objetivo caracterizar o conhecimento e as estratégias que estudantes utilizam ao realizar uma atividade investigativa genuína e como se dá a influência do objetivo da atividade, dos resultados parciais, do modelo de causalidade entre as variáveis e o conhecimento do domínio teórico durante todo o processo de investigação.

O principal foco da análise foi o exame do reconhecimento e, em seguida, a utilização de testes experimentais adequados e consistentes para a obtenção de dados válidos para a solução dos problemas práticos apresentados. Três questões de pesquisa nortearam todo o desenvolvimento da pesquisa:

- Os alunos do 1º ano do ensino médio conseguem reconhecer um teste experimental adequado e consistente, e distinguí-lo de outros testes que não o são?
- Em que medida os alunos executam testes experimentais adequados e consistentes durante uma atividade investigativa?
- Qual a influência dos quatro aspectos que caracterizam o conhecimento mobilizado pelos alunos no reconhecimento e na execução de testes experimentais adequados e consistentes?

A realização de uma atividade investigativa, assim como a investigação científica, é um processo complexo, que inclui uma gama de habilidades e procedimentos e, ainda, a interação entre conhecimentos conceituais e procedimentais, sejam eles gerais ou específicos.

Acreditamos que a metodologia desenvolvida para a pesquisa tenha possibilitado uma visão das atividades investigativas realizadas pelos estudantes como um todo e fornecido material empírico suficiente para responder às questões propostas, possibilitando uma triangulação dos dados, visando o aumento da validade dos resultados obtidos. Esperamos também que, com essa metodologia, tenhamos suprido uma deficiência identificada na

literatura (Koslowski, 1996; Zimmerman, 2000), ou seja, a falta de uma análise mais completa da atividade experimental e de uma metodologia de pesquisa que contemple, senão todos, os principais aspectos da investigação científica.

7.1 Principais resultados e conclusões

No capítulo 5 analisamos e discutimos os resultados de cada instrumento de pesquisa de forma isolada. Essa análise profunda dos diversos instrumentos que compunham a coleta de dados da pesquisa foi fundamental para respondermos às duas primeiras questões de pesquisa, que serão discutidas a seguir:

Primeira Questão: *Os alunos do 1º ano do ensino médio conseguem reconhecer um teste experimental adequado e consistente, e distinguí-lo de outros testes que não o são?*

Para que pudessem executar satisfatoriamente as atividades do teste de reconhecimento de testes adequados e consistentes, os alunos deveriam perceber a importância do controle de variáveis para a obtenção de resultados confiáveis, além de atentar-se para o objetivo da atividade. Em pouco mais da metade das justificativas analisadas pode-se perceber a preocupação com todos os aspectos que envolvem o controle de variáveis e o reconhecimento de testes experimentais adequados e consistentes. Apenas nove entre os 185 estudantes justificaram corretamente todos os experimentos que compunham o instrumento de pesquisa. Em mais de 40% das justificativas não foi identificado qualquer indício de preocupação com o controle de variáveis.

Apesar da atividade consistir de dois problemas com estruturas de variáveis idênticas, foi possível identificar diferenças devido aos domínios teóricos e à ordem de apresentação dos problemas. O desempenho dos estudantes no problema do ‘Plano inclinado’ foi superior ao desempenho no problema do ‘Equilíbrio térmico’ devido, talvez, à maior familiaridade com o tema. A ordem de apresentação dos problemas teve efeito positivo sobre o desempenho dos estudantes para aqueles que realizaram a atividade do problema do ‘Plano inclinado’ seguido do problema do ‘Equilíbrio térmico’. Esses estudantes apresentaram uma melhoria sensível na compreensão dos objetivos da atividade. Isso foi indicado na tabela 5.4, pelo aumento das justificativas **C1** e diminuição das justificativas **C2**, assim como daquelas baseadas em concepções alternativas (**C5**). A apresentação na ordem inversa, como ocorreu no Livreto 2,

teve efeitos negativos. Isto é, diminuição das justificativas **C1** e aumento de justificativas **C5**, quando comparados com os resultados obtidos por estudantes que utilizaram o Livreto 1.

Este resultado merece análise cuidadosa por causa de suas implicações práticas. Nós o interpretamos em termos da sequenciação própria das atividades, isto é, do mais simples e familiar para o mais complexo e abstrato, que facilita a aprendizagem. Acreditamos que os estudantes adquirem uma compreensão mais adequada da atividade que realizam ao longo do processo, e não imediatamente após lerem os objetivos propostos. É este efeito que justifica começarmos com atividades mais simples, realizando discussões após as atividades, realizarmos atividades semelhantes e aumentarmos progressivamente a complexidade da atividade.

A dificuldade encontrada pelos alunos para justificar os diversos experimentos envolvidos dependeu mais do tipo do experimento e do modelo de causalidade entre as variáveis do que do domínio teórico, pois os experimentos do mesmo tipo tiveram uma distribuição de categorias de justificativas semelhantes. Os experimentos que os alunos tiveram maior dificuldade de avaliar foram do tipo consistente, mas inadequado. Essa dificuldade parece estar relacionada mais a uma dificuldade de apreender os objetivos da atividade do que propriamente com o controle de variáveis.

Porém, mesmo considerando que os estudantes tiveram facilidades e dificuldades para avaliar experimentos do mesmo tipo, a baixa porcentagem de alunos cujas respostas foram sempre coerentes demonstra que a grande maioria dos estudantes teve o seu desempenho influenciado pela mudança do domínio teórico. Isso indica que, para muitos alunos, a capacidade de identificar testes experimentais adequados e consistentes ainda é uma habilidade restrita ao domínio e ao contexto, sendo sua transferência, ainda problemática.

Portanto, os resultados da pesquisa indicam, assim como nossas pesquisas anteriores (Gomes e Borges, 2002; 2003), que indivíduos na faixa etária dos alunos participantes ainda possuem certa dificuldades em reconhecer os testes experimentais adequados e consistentes, em justificar sua importância e, também, em justificar adequadamente o porquê dos demais testes serem considerados inadequados para a resolução dos problemas propostos.

Segunda Questão: *Em que medida os alunos executam testes experimentais adequados e consistentes durante uma atividade investigativa?*

A atividade central da pesquisa foi a realização das atividades investigativas. Com a análise dos arquivos contendo os históricos das investigações das duplas de alunos foi

possível identificar em que medida os alunos executaram os testes experimentais adequados e consistentes. No geral, cerca de 75% dos experimentos realizados pelos estudantes foram adequados e consistentes e visavam determinar o efeito de apenas uma variável, enquanto as demais variáveis eram mantidas constantes.

Poder-se-ia esperar que o reconhecimento dos testes experimentais adequados e consistentes fosse mais fácil do que a realização de atividades investigativas, as quais requeriam que os estudantes executassem tais testes. Porém, para que o aluno fosse capaz de fornecer justificativas completas e adequadas (**C1**) no reconhecimento de testes adequados e consistentes, ele deveria dominar tanto o aspecto operacional (modificar apenas a variável em foco) quanto o aspecto conceitual (estar apto a justificar a importância desse ato) que estão envolvidos num controle de variáveis efetivo. Além disso, existiu ainda a dificuldade adicional de produzir justificativas na forma escrita.

Por outro lado, para a realização de testes adequados e consistentes é necessário apenas o domínio do aspecto operacional. Como muitos alunos omitiram algumas justificativas e comentários durante a realização da atividade, não foi possível determinar se em todos os experimentos os alunos revelaram a preocupação com o aspecto conceitual de que apenas com os testes experimentais adequados e consistentes é possível obter dados confiáveis.

Como os alunos possuem aulas de laboratório de Física e Química semanalmente, muitos encaram o controle de variáveis apenas como uma regra: “devemos variar apenas uma variável em cada experimento e manter as demais constantes”. Isso pode ser evidenciado pela ocorrência das justificativas **C2**, na qual o aluno não pensa no problema, desconsidera o objetivo da atividade e avalia apenas o aspecto operacional do controle de variáveis.

Assim como outras pesquisas apontam (Roth, 1995; Kaselman e Kuhn, 2002), a execução de investigações em duplas parece ter sido decisiva para o desempenho superior nessa atividade. Ao trabalhar em duplas, cada aluno supre as demandas cognitivas do outro, e as discussões geradas contribuem para que os estudantes explorem seus conhecimentos e estratégias, o que leva a um aumento do controle e da regulação dos procedimentos adotados.

Identificamos que a capacidade de executar testes experimentais adequados e consistentes depende da complexidade da atividade investigativa, medida, sobretudo, pelo número e estrutura de variáveis. Não identificamos diferenças significativas no desempenho dos estudantes com relação ao domínio teórico da atividade. Devido às diferenças entre o número de variáveis – domínio teórico e ordem de execução da atividade –, obtivemos variações entre 60,5% e 91,2% (tabela 5.8) no desempenho dos estudantes quanto à execução

de testes experimentais adequados e consistentes durante as atividades. Isso demonstra que, para muitos estudantes que participaram da pesquisa, a habilidade de controlar variáveis ainda não está totalmente dominada e sua transferência para outras atividades ainda é limitada.

Comparando-se o desempenho na primeira e na segunda atividade investigativa, foi possível identificar certo desenvolvimento da capacidade de executar os testes experimentais adequados e consistentes, medido pelo aumento na porcentagem dos mesmos e pelo aumento da qualidade da execução da atividade. Porém, esse desenvolvimento é limitado e ocorreu somente nos grupos de alunos que realizaram as atividades com quatro variáveis. Para os grupos que executaram as atividades com duas variáveis, o desempenho foi semelhante entre a primeira e a segunda atividade.

Esse resultado corrobora pesquisas anteriores (Ross, 1988; Schauble, 1996; Klahr e Toth, 1999) que afirmam que, mesmo na ausência de instruções explícitas, quando são fornecidas oportunidades aos estudantes de praticarem atividades investigativas, há uma melhoria, apesar de limitada, no seu desempenho. Essa melhoria é medida, sobretudo, em relação à capacidade de executar testes experimentais adequados e consistentes e à ampliação da exploração do campo experimental.

Além de um desenvolvimento na capacidade de executar testes experimentais adequados e consistentes, foi possível identificar uma sofisticação das relações causais entre as variáveis envolvidas nas atividades investigativas, após a realização das atividades. Nossa explicação para essa aquisição de conhecimento do domínio teórico da investigação é que os dados e evidências dos testes experimentais adequados e consistentes auxiliaram os estudantes a aprender sobre o papel de cada variável que compunha os problemas. Esse resultado, assim como outros (Chen e Klahr, 1999; Toth, Klahr e Chen, 2000) reforçam a relação entre a utilização de estratégias adequadas de experimentação e a aquisição de conhecimento específico de domínio.

Apesar de amplamente utilizado, o método de comparar as relações causais identificadas pelos alunos antes e depois da atividade investigativa deve ser visto com cautela, pois a revisão imediata da causalidade entre as variáveis envolvidas não resulta, necessariamente, em conhecimento em longo prazo. O ideal seria a utilização desse método, juntamente com a aplicação de um outro questionário contendo questões do mesmo conteúdo e nível, algum tempo após a atividade, visando detectar indícios de aprendizagem de logo termo.

Terceira Questão: *Qual a influência dos quatro aspectos que caracterizam o conhecimento mobilizado pelos alunos (objetivo da atividade, resultados parciais, modelo de causalidade e conhecimento do domínio) no reconhecimento e na execução de testes experimentais adequados e consistentes?*

O objetivo principal do capítulo 6 foi o de estender a análise do material empírico e tentar estabelecer relações entre os resultados individuais de cada instrumento utilizado, na tentativa de obter subsídios para responder nossa terceira questão de pesquisa.

A análise realizada no capítulo referido partiu do princípio de que ao longo de toda atividade investigativa, esses quatro aspectos citados exercem diferentes graus de influência, dependendo do processo envolvido, segundo o modelo SDDS. Assim, à medida que respondemos às questões, procuramos identificar influências e estabelecer relações entre os aspectos do conhecimento mobilizado pelos estudantes e o seu desempenho durante a atividade.

Obtivemos que a capacidade de reconhecer testes experimentais adequados e consistentes está relacionada com o desempenho acadêmico do estudante e com o conhecimento do domínio teórico que envolve a atividade, sendo que a diferença entre os alunos com melhores e piores desempenhos acadêmicos é bastante significativa.

Os participantes da pesquisa e os indivíduos em geral não realizam atividades investigativas como ‘tabulas rasas’ que executam uma busca de forma igualitária no campo dos experimentos. Ao contrário, o modelo de causalidade entre as variáveis envolvidas e os resultados parciais dos experimentos determinam, de forma decisiva, o foco de atenção dos estudantes durante a experimentação. Esses fatores tendem a limitar a busca no campo da experimentação de acordo com as hipóteses mais plausíveis. Os alunos que participaram das atividades investigativas concentraram-se mais em determinadas variáveis (massa da esfera, área superficial do bloco e tipo do líquido), enquanto outras (inclinação e temperatura) não receberam a devida atenção. Essa preferência para explorar o efeito de apenas determinadas variáveis já foi identificada em outras pesquisas (Klahr, Fay e Dunbar, 1993; Penner e Klahr, 1996) e não implica numa falha grave do pensamento científico dos estudantes. Muitas vezes eles nem percebem a dimensão do campo experimental da atividade, nem a necessidade de explorá-lo completamente.

Obtivemos uma relação previsível entre a capacidade dos alunos de identificar e executar os testes experimentais adequados e consistentes. Em geral, aqueles alunos que obtiveram um bom resultado no teste de reconhecimento desses testes também souberam

executá-los na determinação da influência das variáveis durante a realização da atividade investigativa.

A identificação adequada dos objetivos da atividade é um fator determinante para o seu sucesso. As diferenças significativas no desempenho nas diversas fases da investigação entre os grupos que identificaram ou não corretamente os objetivos da atividade investigativa, leva-nos a crer que a capacidade de identificar os objetivos depende, além das características da atividade, das estruturas cognitivas do indivíduo. Assim, muitos alunos que não identificaram corretamente o objetivo da investigação devem ter tido problemas em identificar os objetivos das demais fases da atividade investigativa, comprometendo assim o seu desempenho.

7.2 Implicações educacionais

A pesquisa recente costuma caracterizar o ensino de Ciências segundo suas dimensões principais. Hodson (1992) argumenta que o ensino de Ciências deveria contemplar três dimensões do processo de aprendizagem:

- *Aprender Ciências* – adquirir e desenvolver conhecimentos conceituais e teóricos sobre os principais campos da Ciência.
- *Aprender sobre Ciências* – desenvolver um conhecimento sobre a natureza e os métodos da Ciência e uma compreensão sobre a complexa interação entre Ciência e sociedade.
- *Fazer Ciência* – engajar em investigações e adquirir conhecimentos sobre o processo de resolução de problemas práticos.

Acreditamos que uma das formas de se obter um ensino mais significativo, contextualizado e atualizado seja 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. Da mesma forma, Gurgel defende que,

> "certamente, a aprendizagem das Ciências precisa ser compreendida como uma aventura que supõe enfrentar problemas, buscar soluções, constatações de validade e erro das idéias, próprias ao conhecimento científico, porém, apoiada em uma investigação e criatividade próprias de um trabalho científico. Essa atitude impregna todos os aspectos dessa aprendizagem que vai desde a forma como são introduzidos os conceitos, a orientação dos trabalhos práticos e do conteúdo, até o clima de trabalho na aula." (Gurgel, 2000, p. 47).

Segundo o próprio Hodson, as atividades práticas organizadas em investigações, além de serem adequadas para trabalhar assuntos relacionados à atividade científica e de contemplar, ao mesmo tempo, as três dimensões do ensino de Ciências, são atividades

> "nas quais os estudantes utilizam os processos e métodos da Ciência para investigar fenômenos e resolver problemas como meios de aumentar e desenvolver seus conhecimentos, e fornecem um elemento integrador poderoso para o currículo. Ao mesmo tempo, os estudantes adquirem uma compreensão mais profunda da atividade científica, e as investigações tornam-se um método tanto para aprender Ciência como aprender sobre a Ciência." (Hodson, 1992, p. 549).

Para realizar uma atividade investigativa, o estudante precisa aprender a planejar e a conduzir suas ações de acordo com o planejado. Acreditamos que questões relacionadas ao planejamento e execução de tais atividades precisam ser explicitamente trabalhadas no currículo de Ciências, iniciando-se ainda no ensino fundamental, de forma simples e progressiva, mas bem antes dos estudantes ingressarem no ensino médio.

No entanto, essas questões não são valorizadas ou abordadas pela educação básica e mesmo pelos cursos introdutórios de Ciências naturais na universidade. Os professores da educação básica que realizam atividades experimentais com suas classes desconhecem ou nem sempre estão atentos às dificuldades que os estudantes podem ter em compreender o que estão fazendo no laboratório. De fato, pesquisas indicam que mesmo em contextos educacionais com forte orientação para atividades experimentais mais abertas, os estudantes que estão concluindo sua educação secundária, e mesmo aqueles de cursos universitários, aprendem pouco sobre essas questões (Millar, 1991; Borges, Vaz e Borges, 2001).

Se pretendermos basear o ensino de Física e de Ciências em atividades investigativas como forma de aprendizagem, devemos estar atentos para o fato de que os estudantes enfrentam muitas dificuldades no laboratório e no entendimento de Física. Alguns alunos do grupo estudado se mostraram pouco familiarizados com certas idéias e conceitos que os professores do ensino médio tomam como garantidos, como, por exemplo, a diferença entre variáveis e fatores constantes ou, mesmo, as possíveis relações entre duas variáveis. Outros

estudos também indicam algumas dessas dificuldades. Os professores do ensino fundamental e médio também precisam trabalhar com os estudantes a idéia de variável, o significado dos tipos de variáveis (discreta, categórica, intervalar, contínua), as diferenças entre variável causal e não-causal, as grandezas variáveis e constantes, as variáveis independente e dependente e idéias relacionadas, de forma clara e explícita. As formas de representações em tabelas e gráficos das relações entre as variáveis também são fundamentais (Borges, Borges e Vaz, 2001. INAF, 2002). A proporção da população do país que apresenta bom desempenho em tarefas que exigem cálculos proporcionais e leitura e interpretação de gráficos é alarmantemente pequena, segundo dados do INAF (2002).

Para que haja uma compreensão satisfatória da atividade e do objeto sob estudo os estudantes precisam desenvolver uma boa compreensão sobre o que é um experimento e sobre qual o papel da experimentação no ensino de Ciências e na atividade científica para a obtenção e o desenvolvimento de novos conhecimentos.

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.

Lin e Lehman (1999) investigam a utilização desses tipos de questões para engajar os estudantes num processo metacognitivo que os levem a refletir sobre as condições e necessidades de utilização de estratégias de controle de variáveis. Participaram da pesquisa, 88 estudantes de licenciatura em Biologia recém-ingressos na universidade. A atividade desenvolvida foi uma simulação computacional que representava uma situação muito comum para a área da Biologia: qual fator tem a maior influência sobre o comportamento de determinada espécie. Ao final da pesquisa, Lin e Lehman concluem que as questões propostas ajudam os estudantes a organizar o raciocínio e, sobretudo, os incentivam a refletir sobre suas ações durante a atividade. Além disso, as respostas dos estudantes às questões fornecem ao professor uma idéia sobre o conhecimento e a compreensão deles sobre o fenômeno estudado.

Um outro aspecto igualmente importante é tratar explicitamente dos objetivos das atividades. Quando planejam atividades experimentais, os professores devem considerar que os estudantes podem conceber para as mesmas, outros objetivos que não o desejado e estipulado por eles e, por isso, ter um desempenho aquém do esperado. Portanto, é preciso que os professores se esforcem para que os alunos tenham um entendimento claro dos propósitos de cada atividade e do porquê de sua realização.

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.

Nosso trabalho também alerta para o perigo potencial de pequena parte dos estudantes desenvolverem e/ou manterem concepções inadequadas a partir da resolução das investigações. Para alguns estudantes, principalmente aqueles que possuem maiores dificuldades em compreender a lógica da experimentação, suas ações, quando pouco orientadas, são aleatórias e sem sentido. Portanto, esses alunos têm poucas chances de obterem sucesso em suas atividades. 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 permanência dessas concepções inadequadas é menor, pois essa tarefa pós-laboratorial desperta os estudantes para o sentido da realização da atividade e para a relação entre objetivos e procedimentos adotados.

Uma das tendências predominantes na área de educação em Ciências é a de que os currículos devam visar a ‘alfabetização científica’ dos estudantes. Para ser considerado como alfabetizado cientificamente, o indivíduo deve possuir, dentre outras habilidades e competências, uma base substancial de conhecimentos sobre as principais idéias, leis e teorias que compõem a Ciência e, também, um domínio do que denominamos de conhecimento conceitual do processo de experimentação e de seus métodos. Em outras palavras, o indivíduo deve compreender a lógica que permeia os processos de coleta, análise, interpretação e representação das evidências experimentais. Apenas com o domínio desses dois componentes essenciais é que o indivíduo pode compreender o processo de construção e desenvolvimento do conhecimento científico e o papel das teorias e da experimentação na Ciência e na escola.

Nossa experiência como professores do ensino médio sugere que os adolescentes são bons em seguir instruções e demonstram domínio operativo de estratégias de experimentação

em situações específicas, mas são muito menos seguros quanto ao entendimento conceitual que tais estratégias e instruções implicam.

Com relação exclusiva ao controle de variáveis, o que deve ser incentivado é um aumento do entendimento conceitual da importância dos testes experimentais adequados e consistentes no processo de experimentação e não apenas a preocupação em decorar uma regra "varie apenas uma variável e mantenha as demais constantes" descontextualizada e algorítmica, sem sua devida compreensão.

Assim, as ações, atitudes e procedimentos dos estudantes durante as atividades devem ser discutidos e analisados para que eles possam desenvolver uma compreensão conceitual da experimentação e de seus procedimentos fundamentais. Os estudantes devem ter 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 realizada.

A transferência de habilidades relacionadas ao controle de variáveis e utilização de testes experimentais adequados e consistentes requer dos estudantes esse conhecimento conceitual do processo de experimentação, o que faz com que ele domine seus princípios e saiba o porquê de suas ações. Apenas com esse domínio da lógica da experimentação é que seus conhecimentos procedimentais, estratégias e habilidades podem ser utilizados de forma adequada e flexível entre diversos contextos e domínios.

Portanto, não podemos esperar dos estudantes um bom entendimento sobre as questões que envolvem o controle de variáveis e o reconhecimento e execução de testes experimentais adequados e consistentes e a sua generalização para quaisquer fenômenos ou problemas se não forem dadas a eles oportunidades de aprendê-las e praticá-las. Os professores devem, então, elaborar atividades investigativas específicas que estimulem os alunos a utilizar tais estratégias. Essas atividades, além de bem orientadas, devem ter uma grande participação dos estudantes para que esses executem e reconheçam a importância do controle de variáveis na interpretação dos resultados, revisão de suas hipóteses iniciais e na mudança de suas concepções sobre o efeito de cada variável envolvida.

Espera-se que, com a realização de uma seqüência de investigações, 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 desenvolverem estratégias de experimentação mais adequadas. Nesse caso específico, nossos resultados sugerem que a seqüenciação 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. É preciso, antes de tudo, propiciar tempo para que os estudantes reconstruam seu entendimento sobre o aprender Ciências e sobre o papel da experimentação.

Muitos estudantes entendem que aprender Ciências e fazer uma atividade no laboratório é produzir um relatório da tarefa, ou resolver um problema apresentando um resultado. Apenas com esforço e persistência podemos levá-los a reconstruir estes entendimentos típicos da cultura escolar, passando a enfatizar não os produtos das atividades, mas os processos e o raciocínio que elas ensejam, de forma a facilitarmos o acesso dos estudantes ao conhecimento disciplinar organizado e efetivo.

7.3 Novas questões de pesquisa

A evolução das metodologias dos estudos sobre o pensamento científico humano, sobretudo nas últimas duas décadas, tem possibilitado o acúmulo de uma quantidade enorme de resultados e informações. 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.

Hoje, é cada vez maior o destaque e a importância que as atividades práticas, organizadas em investigações vêm ganhando nos fóruns educacionais e nos próprios currículos vigentes. Porém, os resultados obtidos em nossa pesquisa e em diversas outras (Schauble, 1996; Klahr, 2000) apontam que apenas uma parte dos estudantes possui habilidades e competências adequadas para a realização satisfatória dessas atividades. Portanto, 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. Além disso, há muito pouca informação disponível sobre o que nossos alunos sabem acerca dos métodos que a Ciência utiliza para a investigação de questões consideradas importantes e merecedoras de atenção.

Assim, como argumentamos na seção anterior, acreditamos que o ensino de Ciências deve fornecer aos estudantes condições para que eles adquiram uma compreensão conceitual

do processo de experimentação suficiente para fazer Ciência. Essa compreensão conceitual envolve o conhecimento procedimental estruturado e integrado de vários aspectos e sub-processos que compõem, de forma integrada, o processo de experimentação. Portanto, pesquisas são necessárias para compreendermos melhor como ajudar os estudantes a refletir sobre o seu raciocínio e seus procedimentos durante as atividades 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.

Há espaços para as pesquisas que exploram o entendimento e a idéia dos estudantes, de forma isolada, sobre alguns desses aspectos que compõem essa compreensão conceitual da experimentação. Porém, a compreensão isolada de diversos componentes que caracterizam o processo de experimentação não garante, necessariamente, a aquisição de uma compressão do processo como um todo. Acreditamos que pesquisas sobre aspectos fundamentais do processo de experimentação não podem ser realizadas de forma descontextualizadas e sim, incorporadas a situações de investigações genuínas.

A área da educação deve privilegiar as pesquisas que têm como contexto atividades investigativas as quais permitam não só a exploração de relações de covariação e causalidade, mas, sobretudo, relações de não-convarição 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 investigação e, principalmente, com o ensino de Ciências e a aquisição de conhecimentos específicos de domínio. Permanece ainda em aberto a discussão sobre o sentido da relação causal obtida entre o desempenho acadêmico na disciplina, o conhecimento teórico do domínio da atividade e o sucesso na realização das atividades investigativas e a capacidade de realizar testes experimentais adequados e consistentes.

Em nossa pesquisa, muitas duplas de estudantes mudaram de estratégia durante a atividade. Algumas executaram testes experimentais adequados e consistentes, contudo passaram a realizar experimentos inconsistentes e controversos. Outras duplas agiram de maneira oposta. Por um lado, essas mudanças de estratégias deixam claro que a habilidade de controlar variáveis para essas duplas ainda era problemática e limitada a situações restritas.

Por outro lado, sinaliza uma outra fonte de pesquisas. Como os indivíduos revisam e modificam suas ações e procedimentos durante a atividade? Como os indivíduos rejeitam estratégias e procedimentos antigos em detrimento a novos? As respostas a essas perguntas exigiriam um acompanhamento mais individualizado do trabalho de cada dupla e uma análise mais detalhada de todo o processo de investigação.

A maioria dos estudos que buscam compreender a capacidade de indivíduos de controlar variáveis utiliza contextos de pesquisa em que as variáveis independentes não exercem entre si nenhuma influência, ou seja, não se interagem, o que simplifica bem os contextos. Salvas algumas exceções (Schauble, 1990; Zohar, 1995; Penner e Klahr, 1996), são raras as pesquisas que envolvem o controle de variáveis em contextos nos quais ocorre a interação entre variáveis independentes. Porém, na natureza, há diversos exemplos, inclusive próximos ao cotidiano dos alunos, em que essa interação é bastante comum. O exemplo mais simples é a relação entre volume e massa do corpo: sendo do mesmo material, quanto maior o volume, maior a massa. Portanto, não podemos desconsiderar a interação entre variáveis e devemos investigar a compreensão dos estudantes sobre esse fenômeno. Tal estudo poderia nos informar e gerar novas questões a respeito da compreensão dos estudantes sobre o modelo de causalidade entre variáveis e sobre a concepção de que o resultado experimental obtido é uma combinação de efeitos das variáveis envolvidas. Como discutimos, a falha nesse modelo de causalidade é apontada por alguns (Kuhn, Black, Kaselman e Kaplan, 2000) como um dos motivos das falhas apresentadas pelos indivíduos durante o processo de experimentação.

Um aspecto que não podemos negligenciar é a questão da motivação e do interesse dos estudantes durante a realização das atividades. A pesquisa educacional tem demonstrado que esses fatores são fundamentais para o processo de aprendizagem. 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. Numa atividade investigativa, exige-se mais do aluno ao passo em que ele é levado a pensar durante toda a atividade. Para os alunos mais engajados e entusiasmados esse tipo de atividade se torna mais motivadora e desafiante. Porém, para os mais acomodados e até mesmo “preguiçosos”, as atividades investigativas não cumpririam esse papel, já que 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 com as práticas pedagógicas tradicionais.

Este trabalho aponta, ainda, para outras questões não satisfatoriamente respondidas e pouco exploradas, que influenciam diretamente em todo o processo de planejamento e execução de atividades investigativas. Entre essas questões, destacam-se:

- Como os estudantes compreendem a Ciência e o processo de experimentação?
- Como os estudantes concebem o ato de aprender Ciências?
- Como os estudantes compreendem a produção do conhecimento no laboratório?
- Como os estudantes transformam os dados experimentais obtidos em evidências para obterem delas as conclusões necessárias?

Essas questões relacionam-se diretamente com a visão de Ciências, a compreensão da epistemologia da Ciência e a metacognição dos indivíduos. Segundo Ryder, Leach e Driver (1997), não é comum a discussão formal em sala-de-aula de assuntos relacionados à natureza da Ciência. Portanto, raramente os estudantes chegam a formalizar, por escrito ou até mesmo oralmente, o que eles entendem por Ciências ou conhecimento científico. Sendo assim, as compreensões que os estudantes têm sobre a natureza da Ciência e a produção do conhecimento científico são, na maioria das vezes, tácitas, formadas a partir de meios de comunicação e de experiências pessoais.

Os resultados de nossa pesquisa e de outras (Sá e Borges, 1999; 2001) apontam para a dificuldade dos estudantes em identificar corretamente os objetivos das atividades que são realizadas no laboratório. Essa dificuldade parece estar relacionada, além de outros fatores, a uma compreensão inadequada do papel do laboratório e das atividades experimentais na educação e na própria Ciência. A idéia de que o laboratório serve para comprovar uma teoria ou uma lei é extremamente arraigada entre os estudantes e acentuada pelos discursos de professores e livros didáticos.

Pesquisadores (Hodson, 1992; Lijnse, 1995; Borges, Borges, Silva e Gomes, 2001) afirmam que a utilização de atividades práticas organizadas como investigações, além de possibilitar uma integração dinâmica entre os processos e métodos da Ciência e o conhecimento conceitual do domínio da atividade, contribui para que os alunos desenvolvam uma visão mais adequada da Ciência e do processo de construção do conhecimento.

Finalmente, é necessário determinar as aprendizagens que podem resultar a partir da resolução de atividades investigativas em graus variados de abertura e especificação em um

ambiente de aprendizagem implementado no laboratório escolar, criado especialmente para deslocar o centro da atenção do aluno da manipulação de equipamentos e da medição para a reflexão sobre suas ações. Ou seja, como se desenvolve a compreensão do estudante ao longo de suas trajetórias de aprendizagem num ambiente que privilegie a experimentação, construção de explicações e argumentos, e a regulação da própria aprendizagem. Para tanto, não se deve estar interessado apenas no processo de resolução de problemas, mas em como os conhecimentos, estratégias e conceitos mobilizados evoluem a partir da utilização de atividades práticas diversas, desenvolvidas ao longo do processo de aprendizagem, planejadas para promover a compreensão da epistemologia da Ciência.

Somente a partir da compreensão sobre o que os estudantes pensam e fazem durante as atividades de laboratório e o potencial de um ambiente de aprendizagem baseado em investigações para promover uma maior compreensão epistemológica da Ciência, é que poderemos contribuir para elucidar e definir melhor a importância e o papel do laboratório dentro do currículo de Ciências.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.A.A.S. **Science for all Americans - Project 2061.** New York: Oxford University Press, 1990. 272 p.

AKERSON, V. L.; ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. Influence of a reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v.37, n.4, p. 295-317, 2000.

ALEXANDER, P. A.; JUDY, J. E. The Interaction of Domain-Specific and Strategic Knowledge in Academic Performance. **Review of Educational Research**, v.58, n.4, p.375-404, 1988.

AMSEL, E.; BROCK, S. The Development of Evidence Evaluation Skills. **Cognitive Development**, v.11, p.523-550, 1996.

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.

BARON, J. B.; STERNBERG, R. J. **Teaching Thinking Skills.** New York: W. H. Freeman and Company, 1986.

BERGER, C. F.; LU, C. R.; BELZER, S. J.; VOSS, B. E. Research on the uses of technology in Science Education. In: GABEL, D. (Ed). **Handbook of Research on Science Teaching and Learning.** New York: MacMillan, 1994. p. 466-490.

BORGES, A. T. Como Evoluem os Modelos Mentais. **Revista Ensaio**, v.1, n.1, p.85-125, 1999.

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; 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; 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, 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, 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...**

BRASIL, Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais**. Brasília: MEC, 1999.

BROWN, M.; EDELSON, D. C. A Lab by Any Other Name: Integrating Traditional Labs and Computer-Supported Collaborative Investigations in Science Classrooms. In: C. HOADLEY; J. ROSCHELLE (Eds). **Proceedings of the Computer Support for Collaborative Learning (CSCL).** Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1999. p. 1-14.

CABRERA, B. Early Experiences with Physics Simulations in the Classroom. In: **Proceedings of the Conference on Computer in Physics Instruction.** North Caroline State University: Addison-Wesley Pub., 1988. p.77-83.

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.

CHALMERS, A. F. **O que é Ciência afinal?** 1ª ed. São Paulo: Brasiliense, 1993. 225 p.

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.; 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.

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.

COUTINHO, M. T. C.; MOREIRA, M. **Psicologia da Educação.** Belo Horizonte: Editora Lê, 2001. 215 p.

GIORGI, S.; CONCARI, S.; POZZO, R. Un estudio sobre las investigaciones acerca de las ideas de los estudiantes en fuerza y movimiento In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IV., 2003, Bauru, SP. **Atas**…

DISESSA, A. A. Toward an Epistemology of Physics. **Cognition and Instruction**, v.10, n.2 & 3, p.105-225, 1993.

DRIVER, R.; LEACH, J.; MILLAR, R.; SCOTT, P. **Young people's images of science.** Buckingham: Open University Press, 1996.

DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P.; ROBINSON, V. W. **Making sense of secondary science: research into children's ideas.** London: Routledge, 1994. 210 p.

DUARTE, M. D. O trabalho laboratorial em manuais escolares de química portugueses dos 8º e 9º anos de escolaridade. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, II., 1999, Valinhos, São Paulo. **Atas...**

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.

ESCALADA, L. T.; ZOLLMAN, D. A. An Investigation on the Effects of Using Interactive Digital Video in a Physics Classroom on Student Learning and Attitudes. **Journal of Research in Science Teaching**, v.34 , n.5, p.467-489, 1997.

GATTO, D. The use of interactive computer simulations in training. **Australian Journal of Educational Technology**, v.9 , n.2, p.144-156, 1993.

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.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, II., 1999, Valinhos. **Atas....**

GOMES, A.D.T.; SILVA, M.V.D.; BORGES, O. N.; BORGES, A.T. Laboratórios Centrados em Computador. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, VIII., 1999, Brasília, D.F. **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, 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. Controle de variáveis e experimentação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, VIII., 2002, Águas de Lindóia. **Atas...**,2002.

GOTT, R.; DUGGAN, S. **Investigative Work in the Science Curriculum.** Buckingham: Open University Press, 1995. 146 p.

GURGEL, C. M. A. Ações investigativas no ensino da Física: sobre o método. In: TOMAZELLO, M. G. C. (Org.). **A experimentação na aprendizagem de Conceitos físicos sob a perspectiva histórico-social.** Piracicaba: UNIMEP/CAPES/PROIN, 2000. p.33-57.

HANSON, N. R. Observações e Interpretações. In: MORGENBESSER, S. (Org.). **Filosofia da Ciência.** São Paulo: Cultrix, 1975.

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.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v.20, n.2, p.53-66, 1988.

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

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. Toward a Philosophically More Valid Science Curriculum. **Science Education**, v.72, n.1, p.19-40, 1988.

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.

INHELDER, B.; PIAGET, J. **Da lógica da criança à lógica do adolescente.** São Paulo: Pioneira, 1976.

INSTITUTO PAULO MONTENEGRO. **INAF - Indicador Nacional de Alfabetismo Funcional - Avaliação de Matemática.** São Paulo: Ação Educativa, 2002. 20 p.

JENKINS, E. W. Research in Science Education in Europe: Retrospect and Prospect. In: BEHRENDT, H.; DAHNCKE, H.; DUIT, R.; GRÄBER, W.; KOMOREK, M.; KROSS, A.;REISKA, P. **Research in Science Education – Past, Present, and Future**. Dorderecht: Kluwer. 2001, p.17-26.

JIMOYIANNIS, A.; KOMIS, V. Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. **Computers & Education**, v.36, p.183-204, 2001.

KASELMAN, A.; KUHN, D. Facilitating Self-Directed Experimentation in the Computer Environment In: COMPUTER SUPPORT FOR COLLABORATIVE LEARNING (CSCL), VII., 2002, Boulder, Colorado. **Atas…**

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.

KLAHR, D. **Exploring Science: the Cognition and Development of Discovery Process.** Cambridge: MIT Press, 2000. 239 p.

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.; DUNBAR, K. Dual Space Search During Scientific Reasoning. **Cognitive Science**, v.12, n.1, p.1-48, 1988.

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.; HA, Y. Confirmation, Disconfirmation, and Information in Hypothesis Testing. **Psychological Review**, v.94, n.2, p.211-228, 1987.

KLAYMAN, J.; 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.

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. Children and Adults as Intuitive Scientists. **Psychological Review**, v.96, n.4, p.674-689, 1989.

KUHN, D. Constraints or Guideposts? Developmental Psychology and Science Education. **Review of Educational Research**, v.67, n.1, p.141-150, 1997.

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, 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.; 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, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas.** 2 ed. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LATOUR, B. **Ciência em Ação**. São Paulo: Editora Unesp, 1998.

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.

LIJNSE P. L. (1995). Developmental Research as a way to an empirically based Didactical Structure of Science. **Science Education**,v.79, p. 189-199.

LIN, X.; LEHMAN, J. D. Supporting Learning of Variable Control in a Computer-Based Biology Environment: Effects of Prompting College Students to Reflect on Their Own Thinking. **Journal of Research in Science Teaching**, v.36, n.7, p.837-858, 1999.

LUNETTA, V. N.; HOFSTEIN, A. Simulations in Science Education. **Science Education**, v.65 , n.3, p.243-252, 1981.

MAYER, R. E.; WITTROCK, M. C. Problem-solving transfer. In: BERLINER, D. C.; CALFEE, R. C. (Eds). **Handbook of Educational Psychology.** New York: MacMillan, 1996. p. 47-62.

MCCLOSKEY, M. Naive theories on motion. In: GENTNER, D.; STEVENS, A. L. (Eds). **Mental Models.** Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1983. p.299-324.

MCKINNEY, W. J. The Educational Use of Computer Based Science Simulations: Some Lessons from the Philosophy of Science. **Science & Education**, v.6, p.591-603, 1997.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.24, n.2, p.77-86, 2002.

MEDEIROS, A.; BEZERRA FILHO, S. A natureza da Ciência e a Instrumentação para o Ensino de Física. **Ciência & Educação**, v.6, n.2, p.107-117, 2000.

MEYER, K.; CARLISLE, R. Children as experimenters. **International Journal of Science Education**, v.18, n.2, p.231-248, 1996.

MEYER, K.; WOODRUFF, E. Consensually driven explanation in science teaching. **Science Education**, v.81, n. 2, p.173-192, 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.; DRIVER, R. Beyond Processes. **Studies in Science Education**, v.14, p.33-62, 1987.

MILLAR, R. Science Curriculum for all. **School Science Review**, v.77, 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.

PAULA, H. F. **A Ciência escolar como instrumento para compreensão da atividade científica**. 2004. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação da UFMG, Belo Horizonte.

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.

POSNER,G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. **Science Education**, v.66, n.2, p. 211-227, 1982.

ROBERTS, M. J.; NEWTON, E. J. Understanding strategy selection. **International Journal of Human-Computer Studies**, v.54, n.1, p.137-154, 2001.

ROSS, J. A. Controlling Variables: A Meta-Analysis of Training Studies. **Review of Educational Research**, v.58, n.4, p.405-437, 1988.

ROTH, W. M. **Authentic School Science.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995.

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.

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.

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…**

SÁ, E. F.; BORGES, O. N. Como alunos e professores entendem o propósito de uma atividade de laboratório. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, III., 2001, Atibaia, SP. **Atas...**

SÁ, E. F.; BORGES, O.N. Identificação dos objetivos de atividades práticas por alunos do Ensino Fundamental. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, II., 1999, Valinhos, SP. **Atas…**

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.; GLASER, R. Scientific Thinking in Children and Adults. In: KUHN, D. (Ed.). **Developmental Perspectives on Teaching and Learning Thinking Skills.** Basel: Karger, 1990. vol.21. p.9-27.

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.

SÉRÉ, M.G. La Enseñanza en el Laboratorio. Qué Podemos Aprender en Términos de Conocimiento Práctico y de Actitudes hacia la Ciencia? **Enseñanza de las Ciencias**, v.20, n.3, p.357-368, 2002.

SIEGLER, R. S. Strategic development. **Trends in Cognitive Science**, v.3, n.11, p.430-435, 1999.

SILVA, P. R. O Uso do Computador no Ensino de Física. Parte I: Potencialidades e Uso Real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.17, n.2, p.182, 1995

SODIAN, B.; ZAITCHIK, D.; CAREY, S. Young Children's Differentiation of Hypothetical Beliefs from Evidence. **Child Development**, v.62, p.753-766, 1991.

SOPHIAN, C. Beyond Competence: the Significance of Performance for Conceptual Development. **Cognitive Development**, v.12, p.281-303, 1997.

STEINBERG, R. N. Computers in teaching science: To simulate or not to simulate? **American Journal of Physics**, v.68 , n.7, p.S37-S41, 2000.

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.

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.

TOMAZELLO, M. G. C.; GURGEL, C. M. A. A prática experimental em Física. In: TOMAZELLO, M. G. C. (Org.). **A experimentação na aprendizagem de Conceitos físicos sob a perspectiva histórico-social.** Piracicaba: UNIMEP/CAPES/PROIN, 2000. p.11-32.

TOTH, E. E.; KLAHR, D.; CHEN, Z. Bridging Research and Practice: A Cognitively Based Classroom Intervention for Teaching Experimentation Skills to Elementary School Children. **Cognition and Instruction**, v.18, n.4, p.423-459, 2000.

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.

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.

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. et al. Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebisse einer europaeischen 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.

WINDSCHITL, M.; ANDRE, T. Using Computer Simulations to Enhance Conceptual Change: The Roles of Constructivist Instruction and Student Epistemological Beliefs. **Journal of Research in Science Teaching**, v.35, n.2, p.145-160, 1988.

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.

WOOLNOUGH, B. E. (Ed). **Practical Science: The role and reality of practical work in school science.** Philadelphia: Open University Press, 1991. 200 p.

ZIMMERMAN, C. The Development of Scientific Reasoning Skills. **Developmental Review**, v.20, p.99-149, 2000.

ZOHAR, A. Reasoning about Interactions between Variables. **Journal of Research in Science Teaching**, v.32, n.10, p.1039-1063, 1995.

9 ANEXOS

9.1 Anexo A: Teste sobre o reconhecimento de testes experimentais adequados e consistentes

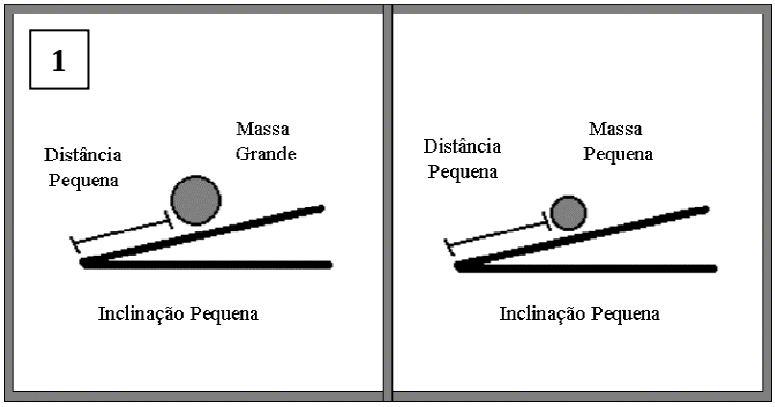
9.1.1 Problema do Plano inclinado

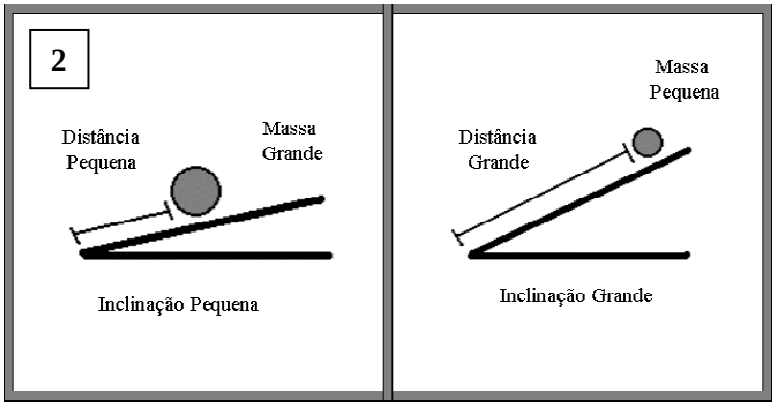
Suponha que um estudante, em uma atividade no laboratório de Física, tenha, sobre sua bancada, uma rampa cuja inclinação ele pode ajustar (duas inclinações possíveis, pequena ou grande), e que ele também dispõe de duas esferas de mesmo material, mas de massas diferentes, que podem ser soltas a partir de duas distâncias distintas com relação ao início da rampa (distância pequena ou grande).

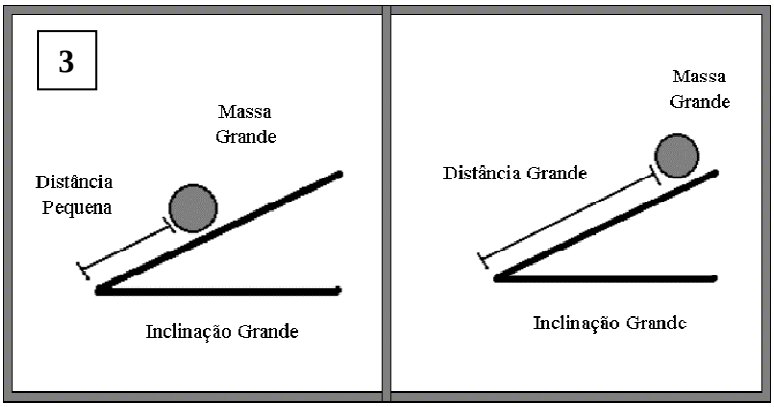
Nas páginas a seguir, são exibidos 5 experimentos que o estudante realizou, com o objetivo **de determinar se a distância em que as esferas são soltas tem influência no tempo que as esferas gastam para percorrer a rampa.** Você deverá avaliar os experimentos que o estudante realizou, considerando a adequação entre o objetivo da atividade e o procedimento adotado. Para cada experimento, você deverá decidir se aquele experimento é bom ou ruim para alcançar o objetivo do estudante e justificar sua resposta.

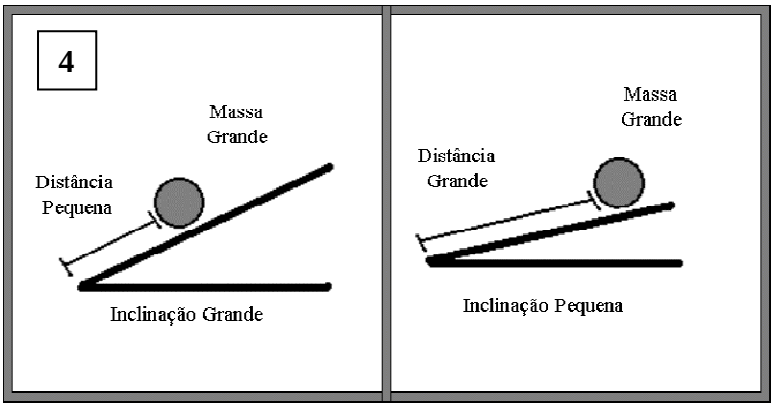
Como exemplo, o experimento 1 (veja a figura) ilustra que o estudante colocou a rampa com uma inclinação pequena e soltou uma esfera de massa grande para rolar a partir de uma distância pequena do início da rampa. Quando a esfera chegou ao final da rampa, ele anotou o tempo gasto pela esfera para percorrer a distância. Em seguida, ele manteve a inclinação pequena da rampa e soltou uma esfera de massa pequena a partir de uma distância pequena e anotou o tempo. Com esse procedimento, o estudante é capaz de determinar, com certeza, se a distância em que as esferas são soltas tem influência no tempo necessário para ela descer a rampa?

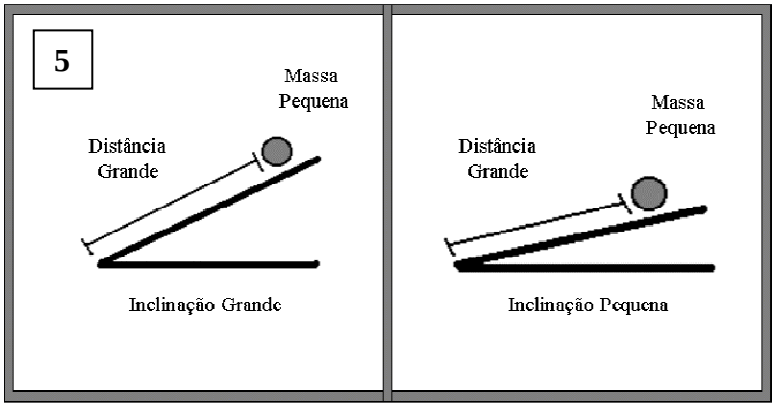
Siga o mesmo raciocínio para os outros experimentos, justificando porquê você considera os experimentos bons ou ruins.




2
Distância
Pequena
Massa
Grande
Inclinação Pequena
Massa
Pequena
Distância
Grande
Inclinação Grande


3
Massa
Grande
Distância
Pequena
Inclinação Grande
Massa
Grande
Distância Grande
Inclinação Grande


4
Massa
Grande
Distância
Pequena
Inclinação Grande
Massa
Grande
Distância
Grande
Inclinação Pequena


5
Massa
Pequena
Distância
Grande
Inclinação Grande
Massa
Pequena
Distância
Grande
Inclinação Pequena

9.1.2 Problema do Equilíbrio térmico

Suponha que um estudante, durante uma outra atividade no laboratório de Física, tenha, sobre sua bancada, 4 recipientes iguais (A, B, C e D), contendo a mesma quantidade de líquido:
-Recipiente A: Contém água quente;

-Recipiente B: Contém água fria;

-Recipiente C: Contém álcool quente;

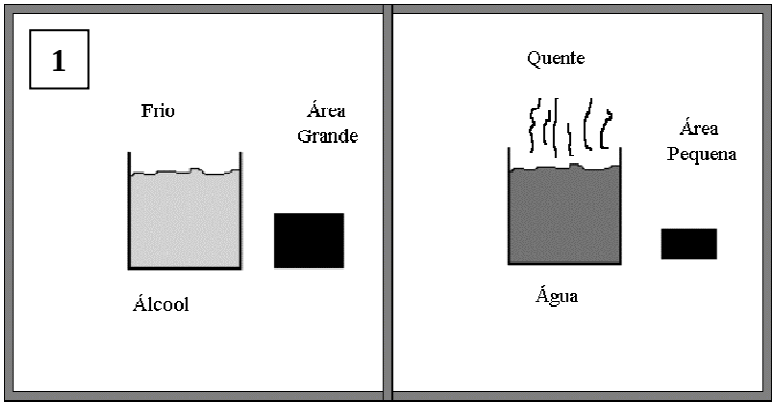
-Recipiente D: Contém álcool frio;

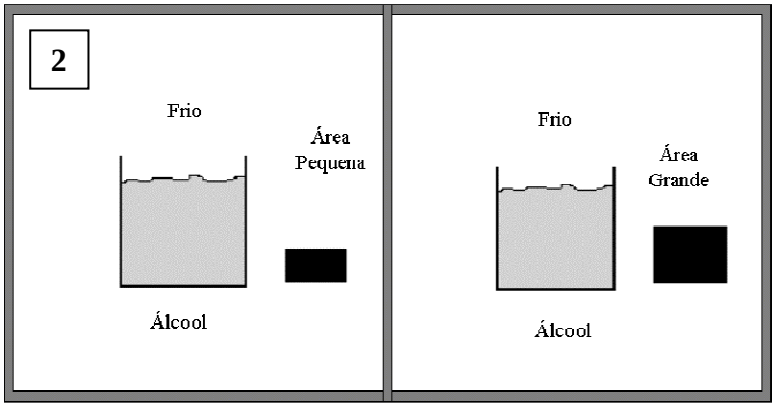
Além dos recipientes com os líquidos, o estudante dispõe de dois blocos de ferro, de mesma massa e com a mesma temperatura, porém de áreas superficiais diferentes, que serão colocados imersos dentro dos recipientes, formando um conjunto (bloco dentro do recipiente com líquido).

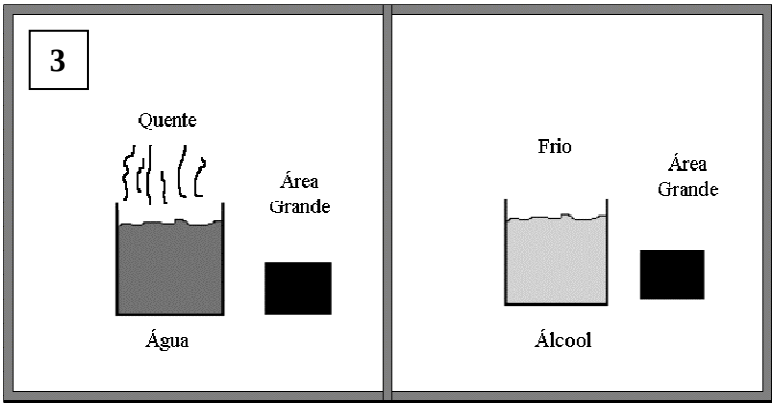
Nas páginas a seguir, são exibidos 5 experimentos que o estudante realizou, com o objetivo **de determinar se a temperatura do líquido tem influência sobre temperatura final do conjunto**. Você deverá avaliar os experimentos que o estudante realizou, considerando a adequação entre o objetivo da atividade e o procedimento adotado. Para cada experimento, você deverá decidir se aquele experimento é bom ou ruim para alcançar o objetivo do estudante e justificar sua resposta.

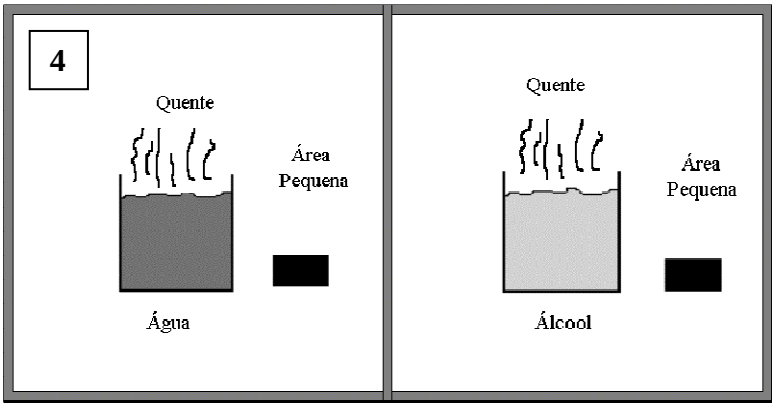
Como exemplo, o experimento 1 (veja a figura) ilustra que o estudante colocou o bloco com área grande, dentro do recipiente contendo álcool frio. Esperou certo tempo e mediu a temperatura do conjunto. Depois, pegou o bloco com área pequena e o colocou dentro do recipiente contendo água quente e anotou a temperatura final do conjunto após certo tempo. Com esse procedimento, o estudante é capaz de determinar, com certeza, se a temperatura do líquido tem influência na temperatura final do conjunto?

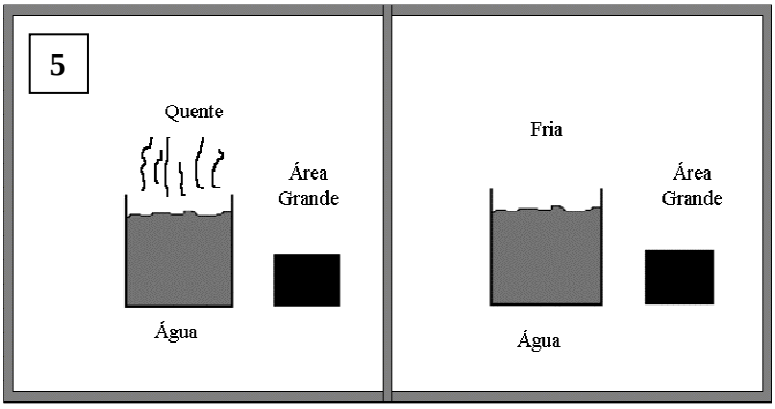
Siga o mesmo raciocínio para os outros experimentos, justificando porquê você considera os experimentos bons ou ruins.






3
Quente
Área
Grande
Água
Frio
Área
Grande
Álcool


4
Quente
Área
Pequena
Água
Quente
Área
Pequena
Álcool

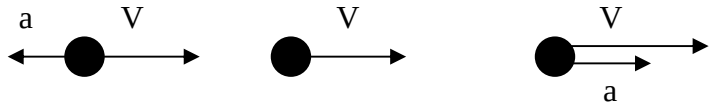

5
Quente
Área
Grande
Água
Fria
Área
Grande
Água

9.2 Anexo B: Questionários sobre o conhecimento prévio do domínio teórico

9.2.1 Questionário sobre movimento acelerado e plano inclinado

1) O que você entende por um movimento acelerado?

2) Considere uma bolinha se movimentando conforme as figuras abaixo. Em cada caso, estão representados os vetores velocidade e aceleração. Associe o desenho à descrição do tipo de movimento:



___ Movimento Uniforme;
___ Movimento Uniformemente Acelerado;
___ Movimento Uniformemente Retardado;

3) Marque U para a situação na qual o movimento descrito é um exemplo de movimento retilíneo uniforme, UA, se o exemplo for de movimento retilíneo uniformemente acelerado e UR se a situação exemplificar um movimento retilíneo uniformemente retardado (Despreze a resistência do ar).

___ Uma bola lançada verticalmente para cima até atingir o ponto máximo;
___ Uma bola descendo uma rampa inclinada sem atrito;
___ A bola de boliche durante seu movimento antes da colisão com os pinos;
___ Um carro em alta velocidade, parando em um sinal vermelho;

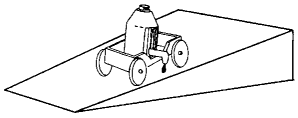
4) Um carro desce por uma rua inclinada, continua movendo-se por uma rua horizontal e, em seguida, colide com um poste. Ao investigar o acidente, um perito de trânsito verificou que o carro tinha um vazamento de óleo que fazia pingar no chão gotas em intervalos de tempo iguais. Ele verificou também que a distância entre as gotas era constante na rua inclinada e diminuía gradativamente na rua horizontal. Desprezando a resistência do ar, o perito pode concluir que o carro:

a) vinha acelerando na descida e passou a frear na rua plana.
b) descia com velocidade constante a rua inclinada e passou a frear na rua plana.
c) vinha freando desde o trecho no plano inclinado.
d) não reduziu a velocidade até o choque.

5) Considere uma esfera descendo uma rampa inclinada. Assinale a alternativa **falsa**:

a) O coeficiente de atrito dependerá apenas dos materiais da esfera e da rampa.
b) A aceleração da esfera aumenta a medida que a esfera desce a rampa.
c) Se aumentarmos a inclinação da rampa, a velocidade final da esfera será maior.
d) A cada segundo, a velocidade da esfera aumenta sempre de um mesmo valor.

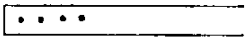
6) Suponha que tenhamos um carrinho descendo uma rampa sem atrito. Fixado a ele, há um marcador que deixa marcas sobre a rampa em intervalos iguais de tempo. Qual das figuras abaixo, melhor representa as marcas deixadas por esse carrinho ao descer a rampa?

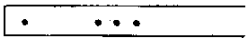


a.

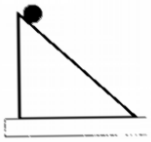
b.

c.

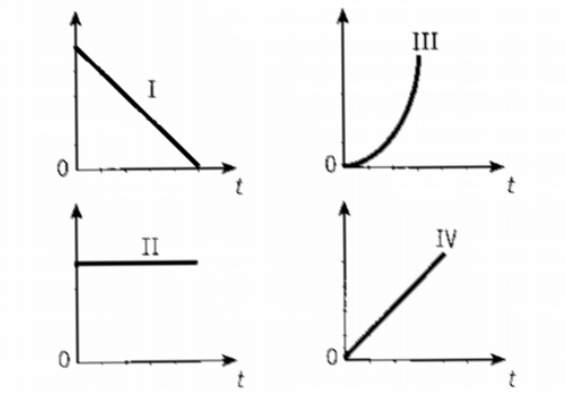
d.


e.


Os enunciados das questões 7 e 8 referem-se ao movimento de uma bola abandonada em um plano inclinado no instante t=0s.



7) O gráfico que melhor representa a distância percorrida pela bola durante o movimento é:
a) I
b) II
c) III
d) IV



8) O gráfico que melhor representa o módulo da velocidade da bola durante o movimento é:

a) I
b) II
c) III
d) IV

9.2.2 Questionário sobre temperatura e equilíbrio térmico

1) Defina o que você entende por calor e o que você entende por temperatura. Em seguida, relacione essas duas grandezas físicas.

2) Quando uma enfermeira coloca um termômetro clínico de mercúrio sob a língua de um paciente, ela sempre aguarda algum tempo antes de fazer a leitura. Esse intervalo de tempo é necessário:

a) para que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o corpo do paciente.
b) para que o mercúrio, que é muito pesado, possa subir pelo tubo capilar.
c) para que o termômetro retenha o calor do corpo da pessoa.
d) por causa da diferença entre os valores do calor específico do mercúrio e o corpo humano.

3) Quando dois corpos, de materiais diferentes e massas iguais, estão em equilíbrio térmico, podemos afirmar que:

a) ambos possuem a mesma capacidade térmica.
b) ambos possuem a mesma temperatura.
c) ambos possuem a mesma variação térmica.
d) ambos possuem a mesma quantidade de calor.

4) Um cano de cobre e um de alumínio, ambos de mesma massa, recebem a mesma quantidade de calor. Observa-se que o aumento de temperatura do cano de alumínio é menor que o do cano de cobre.
Isso acontece porque o alumínio:

a) tem calor específico maior que o do cobre.
b) tem calor específico menor que o do cobre.
c) é melhor condutor de calor que o cobre.
d) é pior condutor de calor que o cobre.

5) Dois blocos de chumbo P e Q sofrem ambos a mesma variação de temperatura $\Delta t = 50^{o}$ C ao serem aquecidos. A massa do bloco P é o dobro da massa do bloco Q. Sendo assim, a quantidade de calor absorvido pelo bloco Q é:

a) maior que a quantidade de calor absorvida por P.
b) menor que a quantidade de calor absorvida por P.
c) igual à quantidade de calor absorvida por P.
d) impossível de determinar.

6) Um recipiente isolado termicamente, contém um litro de água a uma temperatura inicial T. Adicionando-se a este sistema um litro de água a uma temperatura 2T, a temperatura final após estabelecido o equilíbrio térmico será?

a) T
b) Menor que T
c) Algum valor entre T e 2T
d) Maior que 2T

7) Dois corpos A e B, inicialmente às temperaturas T_A=90ºC e T_B=20ºC, são postos em contato e isolados termicamente do meio ambiente. Eles atingem o equilíbrio térmico à temperatura de 45ºC. Nestas condições, podemos afirmar que o corpo A:

a) cedeu uma quantidade de calor maior do que a absorvida por B;
b) cedeu uma quantidade de calor igual à absorvida por B;
c) teve sua quantidade de calor armazenada reduzida pela metade;
d) não sofreu alteração na sua quantidade de calor armazenada;

8) Deseja-se aquecer uma certa massa de água até uma determinada temperatura. Para isso, utiliza-se um ebulidor que fornece uma quantidade determinada e constante de calor por unidade de tempo. Supondo que, utilizando-se esse ebulidor, aqueça-se 1 litro de água em 4 minutos, quantos minutos serão necessários para se aquecer 2 litros de água até a mesma temperatura?

a) 2
b) 8
c) 4
d) impossível de determinar.

9.3 Anexo C: Questionários sobre a causalidade de determinadas variáveis

9.3.1 Problema do Plano inclinado

Considere que um estudante, durante uma aula de laboratório de Física, tenha em sua bancada, rampas de diferentes materiais e várias esferas maciças e homogêneas de mesmo material, mas de massas diferentes. Considere também possível controlar a inclinação das rampas. Suponha que o objetivo da atividade fosse o **de determinar quais os fatores ou grandezas físicas são importantes para determinar o tempo que as esferas gastam para descer as rampas**.

Para cada uma das grandezas físicas abaixo, diga, de acordo com o seu entendimento, de que maneira você acha que esse fator influencia ou não na determinação do tempo que as esferas gastam para descer as rampas. **Justifique sua resposta.**

Inclinação da rampa:
___Influencia.
___Não Influencia.

Justificativa:

Massa das esferas:
___Influencia.
___Não Influencia.

Justificativa:

Atrito entre a rampa e as esferas:
___Influencia.
___Não Influencia.

Justificativa:

A distância que as esferas percorrem sobre a rampa:
___Influencia.
___Não Influencia.

Justificativa:

9.3.2 Problema do Equilíbrio térmico

Considere que um estudante, durante uma aula de laboratório de Física, tenha em sua bancada, recipientes contendo quantidades iguais de diferentes líquidos com diferentes temperaturas e blocos de ferros de mesma temperatura, mas de áreas superficiais e massas variadas. Cada bloco de ferro é colocado dentro de um recipiente e a temperatura final do sistema (bloco+líquido) medida. Suponha que o objetivo da atividade fosse o **de determinar quais os fatores ou grandezas físicas são importantes para determinar a temperatura final do sistema**. Para cada uma das grandezas físicas abaixo, diga, de acordo com o seu entendimento, de que maneira você acha que esse fator influencia ou não na determinação da temperatura final do conjunto. **Justifique sua resposta.**

Tipo do Líquido:
___Influencia.
___Não Influencia.

Justificativa:

Temperatura do Líquido:
___Influencia.
___Não Influencia.

Justificativa:

Massa do bloco:
___Influencia.
___Não Influencia.

Justificativa:

Área superficial do bloco:
___Influencia.
___Não Influencia.

Justificativa:

9.4 Anexo D: Exemplo de arquivo do histórico das investigações

Nomes: Isabela e Nathalia Turma: M-16 Atividade: Plano Inclinado Nº de variáveis: 4

Experimento: 1

Previsão:
Não há muito o que esperar já que é o primeiro experimento.

Distancia: 2
Atrito da Rampa: 0.05
Massa da Bolinha: 2
Inclinação: 2

Tempo: 0.779

Comentário:

Agora que já temos um primeiro valor iremos variar as grandezas para verificar o que influenciara ou não nos resultados.

Experimento: 2

Previsão:
Variaremos o atrito e deixaremos as outras grandezas constantes para ver se ele ira mudar o resultado.
Nos esperamos que o tempo aumente.

Distancia: 2
Atrito da Rampa: 0.1
Massa da Bolinha: 2
Inclinação: 2

Tempo: 0.801

Comentário:

O tempo aumentou como o esperado. Podemos então concluir q o atrito influencia no tempo.

Experimento: 3

Previsão:
Iremos variar a massa da bolinha para ver se isso mudara o tempo.
Esperamos q o tempo não mude.

Distancia: 2
Atrito da Rampa: 0.05
Massa da Bolinha: 3
Inclinação: 2

Tempo: 0.779

Comentário:
O resultado foi o esperado. A massa da bolinha não influencia porque a força da gravidade é a mesma para qualquer massa.

Experimento: 4

Previsão:
Variamos a distancia para ver se ela influenciara no tempo. Esperamos que sim, pois quanto maior a distancia maior o tempo para percorrê-la.

Distancia: 4
Atrito da Rampa: 0.05
Massa da Bolinha: 2
Inclinação: 2

Tempo: 1.102

Comentário:
O resultado foi como o esperado. o tempo varia com a distância.

Experimento: 5

Previsão:
Variaremos a inclinação para ver se ela influenciara no resultado. Esperamos que sim, esperamos que o tempo aumente.

Distancia: 2
Atrito da Rampa: 0.05
Massa da Bolinha: 2
Inclinação: 0

Tempo: 1.176

Comentário:
Foi o que aconteceu. Como a inclinação diminui, a velocidade diminui e o tempo aumenta.

9.5 Anexo E: Questionário final sobre a causalidade das variáveis

9.5.1 Problema do Plano inclinado

A simulação computacional representa esferas de massas diferentes, sendo abandonadas de distâncias diferentes sobre diferentes rampas. **De acordo com os resultados obtidos durante a atividade**, diga se os fatores abaixo têm influência ou não na determinação do tempo que as esferas gastam para descer a rampa e **como você obteve esses resultados**.

- Inclinação da rampa:

___Influencia.

___Não influencia.

___Nada se pode afirmar.

Como você obteve esse resultado:

- Massas das esferas:

___Influencia.

___Não influencia.

___Nada se pode afirmar.

Como você obteve esse resultado:

- Atrito entre a rampa e as esferas:

___Influencia.

___Não influencia.

___Nada se pode afirmar.

Como você obteve esse resultado:

- A distância que as esferas percorrem sobre a rampa:

___Influencia.

___Não influencia.

___Nada se pode afirmar.

Como você obteve esse resultado:

9.5.2 Problema do Equilíbrio térmico

A simulação computacional representa blocos de ferro de mesma temperatura, mas de áreas superficiais diferentes, sendo imersos em líquidos diferentes, com temperaturas diferentes. **De acordo com os resultados obtidos durante a atividade**, diga se os fatores abaixo têm influência ou não na determinação da temperatura final do conjunto (líquido + bloco) e **como você obteve esses resultados**.

- Temperatura do Líquido:

___Influencia.

___Não influencia.

___Nada se pode afirmar.

Como você obteve esse resultado:

- Tipo do Líquido:

___Influencia.

___Não influencia.

___Nada se pode afirmar.

Como você obteve esse resultado:

- Área do Bloco:

___Influencia.

___Não influencia.

___Nada se pode afirmar.

Como você obteve esse resultado:

- Massa do bloco:

___Influencia.

___Não influencia.

___Nada se pode afirmar.

Como você obteve esse resultado: