

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
DOUTORADO EM ENSINO DE FÍSICA

RESSIGNIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DO
ENFOQUE NO PROCESSO DE MODELAGEM CIENTÍFICA*

Leonardo Albuquerque Heidemann

Tese realizada sob a orientação da Profa. Dra. Eliane Angela Veit e coorientação do Prof. Dr. Ives Solano Araujo, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Física.

Porto Alegre

2015

* Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

AGRADECIMENTOS

Aos professores Eliane e Ives, por, além de me orientarem com extrema dedicação e competência, estiveram sempre dispostos a me ajudar no que fosse preciso;

Aos professores Lang, Moreira, Neusa e Marta, pela contribuição que tiveram na minha formação como professor e pesquisador;

Aos funcionários do IF-UFRGS, em especial à Cida e ao Nico, pela boa vontade que sempre tiveram quando precisei deles;

Aos meus colegas Claudio, Tobias, Terrimar, Felipe, Nelson e Vagner, pelas valiosas discussões sobre meu trabalho e sobre o ensino de Física;

Aos meus amigos Glauco, Mara, Nathan, Roberta, Alex, Paulo, Pedro, Brandão e Maykon, pela amizade construída desde os primeiros dias do mestrado;

Ao professor Baibich, pelas importantes discussões sobre o fazer científico, e por ter me auxiliado no delineamento e na condução de algumas das atividades experimentais que foram implementadas nos estudos desta tese;

Aos meus irmãos Guilherme e Felipe, por tornarem minha vida mais divertida;

À Tamara, minha namorada, por ser uma pessoa muito especial que me deu carinho, atenção e apoio incondicional, fazendo tudo parecer mais fácil durante o doutorado;

Aos meus pais Sebastião e Rita, por terem me ensinado a valorizar a educação, e por terem me proporcionado a formação e os recursos que me foram fundamentais nessa caminhada;

A todos os estudantes que participaram como sujeitos da pesquisa nos meus estudos, pela colaboração voluntária e dedicada;

À sociedade brasileira, por ter me proporcionado um curso de doutorado gratuito e de ótima qualidade.

Muito obrigado!

O cientista moderno é essencialmente um animal construtor e testador de modelos.

Mario Bunge

SUMÁRIO

Lista de Quadros	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Figuras	x
Resumo	xi
Abstract	xii
1. Introdução	13
2. Revisão da Literatura	19
2.1 Escopo da revisão	19
2.2 Sobre o ensino de Ciências com enfoque no processo de modelagem científica	20
2.3 Sobre atividades experimentais no ensino de Física	28
2.4 Implicações para os estudos realizados	37
3. Referenciais Teóricos	41
3.1 Ciclos de Modelagem de Hestenes	41
3.2 Concepção de Ciência de Bunge	46
3.2.1 O processo de modelagem científica	48
3.2.2 Operações empíricas no processo de modelagem científica	51
3.3 Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud	60
3.4 Modelagem Didático-Científica Reflexiva de Brandão, Araujo e Veit	64
3.4.1 Realismo e construtivismo: complementares ou excludentes?	64
3.4.2 A modelagem científica entendida como um campo conceitual	66
4. Metodologia de Pesquisa	71
4.1 Concepção de Estudo de Caso de Robert Yin	71
4.2 Contexto dos estudos	73
4.3 Encadeamento dos estudos	74
4.3 Análise de dados qualitativos	76
5. Estudo 1	81
5.1 Participantes do estudo	81
5.2 Metodologia de ensino	81
5.3 Procedimentos metodológicos de investigação	85
5.4 Resultados	87
5.4.1 Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam a atitude dos estudantes em relação às atividades experimentais?	87
5.4.2 Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam na percepção dos estudantes sobre como deve ser desenvolvida uma boa aula de laboratório?	91

5.4.3 Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam a capacidade dos alunos de relacionar os modelos teóricos da Física, o processo de modelagem científica e a experimentação?	94
5.5 Considerações gerais sobre o Estudo 1	98
6. Estudo 2	101
6.1 Características do estudo	101
6.2 Participantes do estudo	101
6.3 Metodologia de ensino	102
6.4 Procedimentos metodológicos de investigação	109
6.5 Resultados	110
6.5.1 Como e por que as atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas influenciaram as crenças e as atitudes dos estudantes em relação às atividades experimentais?	110
6.5.2 Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam o domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica por parte dos estudantes?	122
6.6 Considerações gerais sobre o Estudo 2	151
7. Estudo Teórico: O campo conceitual da modelagem didático-científica sob a perspectiva do trabalho experimental	155
8. Estudo 3	163
8.1 Características do Estudo	163
8.2 Participantes do estudo	164
8.3 Metodologia de ensino	167
8.4 Procedimentos metodológicos de investigação	170
8.5 Resultados	173
8.5.1 Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam as crenças e as atitudes dos estudantes em relação às atividades experimentais?	173
8.5.2 Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam o domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica por parte dos estudantes?	190
8.6 Considerações gerais sobre o Estudo 3	224
9. Considerações Finais	227
Referências Bibliográficas	233
Apêndice A: Termo de consentimento informado e esclarecido assinado pelos participantes dos estudos	243
Apêndice B: Questionário utilizado no Estudo 1	244
Apêndice C: Guia das entrevistas semiestruturadas realizadas no Estudo 1	247

Apêndice D: Resultados das questões objetivas dos pré e pós-teste do Estudo 1.....	248
Apêndice E: Questionário 1 utilizado no Estudo 2.....	251
Apêndice F: Questionário 2 utilizado nos estudos 2 e 3.....	254
Apêndice G: Instruções para a confecção de relatórios experimentais usadas pelos estudantes nos estudos 2 e 3.....	256
Apêndice H: Guia das entrevistas semiestruturadas previstas para o Estudo 2.....	264
Apêndice I: Resultados das questões objetivas do Questionário 1 do Estudo 2.....	265
Apêndice J: Protocolo de avaliação de relatórios utilizado no Estudo 2.....	267
Apêndice K: Guias de atividade dos Episódios de Modelagem conduzidos no Estudo 3.....	269
Apêndice L: Questões norteadoras para o desenvolvimento de experimentos usadas pelos estudantes no Estudo 3.....	282
Apêndice M: Tarefas de leitura utilizadas no Estudo 3.....	284
Apêndice N: Protocolo de avaliação de relatórios utilizado no Estudo 3.....	287
Apêndice O: Questionário 1 utilizado como teste inicial no Estudo 3.....	289
Apêndice P: Questionário 1 utilizado como teste final no Estudo 3.....	291
Apêndice Q: Guia das entrevistas semiestruturadas previstas para o Estudo 3.....	295
Apêndice R: Resultados das questões objetivas do Questionário 1 do Estudo 3.....	297

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Comparação entre o ensino focado na modelagem científica e os cursos tradicionais	25
Quadro 2.2 - Principais aspectos do processo de modelagem científica a serem ressaltados por professores em aulas de Ciências	28
Quadro 2.3 – Síntese das potencialidades e dos desafios do uso de atividades práticas de laboratório	36
Quadro 3.1 – Exemplo de problema adaptado para atividades de modelagem	42
Quadro 3.2 – Resumo dos estágios e das fases dos ciclos de modelagem propostos por Hestenes	44
Quadro 3.3 – Exemplos de situações modeladas em Física	50
Quadro 3.4 – Exemplos de invariantes operatórios gerais e específicos	69
Quadro 4.1 – Exemplo de produto do processo de desagrupamento e de reagrupamento de dados qualitativos segundo as orientações de Yin	78
Quadro 4.2 – Exemplo de produto do reprocessamento de dados qualitativos	79
Quadro 5.1 – Cronograma das aulas desenvolvida no Estudo Empírico 1	82
Quadro 5.2 – Enunciados dos ciclos de modelagem desenvolvidos no Estudo Empírico 1	84
Quadro 5.3 – Afirmativas sobre boas aulas de laboratório nas quais houve diferenças estatisticamente significativas ao nível de 2% entre as respostas do pré e do teste final no Estudo 1	93
Quadro 5.4 – Categorização das vantagens e desvantagens das aulas com ciclos de modelagem e das aulas tradicionais destacadas pelos 12 participantes do Estudo 1	93
Quadro 5.5 – Afirmativas sobre a natureza dos modelos e da modelagem científica nas quais houve diferenças estatisticamente significativas ao nível de 6% entre as respostas nos testes inicial e final do Estudo 1	95
Quadro 6.1 – Descrição sintética dos estudantes participantes do Estudo 2	103
Quadro 6.2 – Cronograma desenvolvido na disciplina conduzida no Estudo 2	104
Quadro 6.3 – Enunciados das atividades de modelagem realizadas no Estudo 2	106
Quadro 6.4 – Objetivos gerais das atividades de modelagem desenvolvidas no Estudo 2	108
Quadro 6.5 – Objetivos de aprendizagem das atividades de modelagem desenvolvidas no Estudo 2	108
Quadro 6.6 – Concepções dos participantes do Estudo 2 sobre o conceito de modelo	131
Quadro 6.7 – Concepções dos participantes do Estudo 2 sobre o conceito de teoria	131

Quadro 6.8 – Itens avaliados nos relatórios produzidos pelos estudantes no Estudo 2 e suas descrições	133
Quadro 7.1 – Exemplos de conceitos e de invariantes operatórios do campo conceitual da modelagem didático científica	159
Quadro 8.1 – Descrição sintética do grupo de estudantes da Turma A	165
Quadro 8.2 – Descrição sintética dos grupos de estudantes da Turma B	166
Quadro 8.3 - Cronograma desenvolvido na disciplina conduzida no Estudo 3.....	167
Quadro 8.4 – Objetivos dos episódios de modelagem e os respectivos itens utilizados para avaliá-los presentes no protocolo de avaliação do Estudo 3	171
Quadro 8.5 – Conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica aos quais pretendia-se dar sentido com cada Episódio de Modelagem	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 – Atitudes dos participantes do Estudo 2 em relação às atividades experimentais tradicionais e às atividades de modelagem desenvolvidas no estudo.....	111
Tabela 6.2 – Avaliações dos relatórios confeccionados pela Estudante 1 sobre atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2	133
Tabela 6.3 – Avaliações dos relatórios confeccionados pela Estudante 2 sobre atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2	139
Tabela 6.4 – Avaliações dos relatórios confeccionados pela Estudante 3 sobre atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2	141
Tabela 6.5 – Avaliações dos relatórios confeccionados pela Estudante 4 sobre atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2	144
Tabela 6.6 – Avaliações dos relatórios confeccionados pela Estudante 5 sobre atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2	146
Tabela 8.1 – Atitudes dos participantes do Estudo 3 em relação às atividades experimentais tradicionais e aos episódios de modelagem desenvolvidas no estudo.....	174
Tabela 8.2 – Avaliações dos relatórios confeccionados pelos componentes do Grupo A1 sobre os episódios de modelagem conduzidos no Estudo 3.....	209
Tabela 8.3 – Avaliações dos relatórios confeccionados pelos componentes do Grupo B1 sobre os episódios de modelagem conduzidos no Estudo 3.....	214
Tabela 8.4 – Avaliações dos relatórios confeccionados pelos componentes do Grupo B2 sobre os episódios de modelagem conduzidos no Estudo 3.....	218

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Estudantes apresentando seus resultados aos colegas.....	43
Figura 3.2 – As hipóteses científicas não são contrastáveis diretamente	56
Figura 3.3 – Contrastação de teorias.....	59
Figura 3.4 – Exemplo de contrastação empírica de uma teoria científica	59
Figura 3.5 – Mapa da estrutura conceitual de referência associada à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física.....	67
Figura 4.1 – Os tipos de estudos de caso propostos por Yin	72
Figura 4.2 – Caracterização dos estudos de caso segundo Yin.....	72
Figura 4.3 – Encadeamento dos estudos realizados na tese	76
Figura 5.1 – Pequenos quadros-brancos foram utilizados pelos estudantes nas discussões finais, facilitando a comparação entre os dados obtidos por suas investigações	85
Figura 6.1 – Materiais disponibilizados aos alunos na atividade sobre o sistema de amortecimento automotivo.....	104
Figura 6.2 – Representação gráfica dos dados propostos na Questão 3 do Questionário 1	136
Figura 7.1 – Mapa conceitual que sintetiza a estrutura conceitual de referência do processo de contrastação empírica das ideias científicas vinculado ao processo de modelagem científica	157

RESUMO

A forma dissociada como teoria e prática são frequentemente tratadas no ensino de Física contribui para que os estudantes tenham dificuldades para dar sentido aos conhecimentos científicos. Analisando especificamente as aulas de laboratório usualmente desenvolvidas em cursos de Física, observa-se, com frequência, a realização de atividades conduzidas por meio de roteiros excessivamente dirigidos, que levam os estudantes a agir de forma mecânica, sem refletir suficientemente sobre os fundamentos teóricos que amparam suas investigações. Entendendo que é fundamental que os estudantes compreendam o processo de modelagem científica para que vinculem teoria e prática nas aulas de Física, assume-se como objetivo principal nesta tese ressignificar as atividades experimentais por meio do enfoque no processo de modelagem científica. Para alcançá-lo, foram realizados três estudos de caso dirigidos pelas orientações metodológicas de Yin e um estudo teórico. Nos estudos de caso, foi investigada a repercussão da realização de atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica em uma disciplina experimental para graduandos dos cursos de licenciatura e de bacharelado de Física, que englobava conhecimentos de oscilações mecânicas, fluidos e termodinâmica. No primeiro estudo de caso realizado, as atividades foram delineadas e conduzidas com amparo na metodologia de ciclos de modelagem de Hestenes e na concepção de modelagem científica de Bunge. A partir do segundo estudo realizado, foi adotada também a Modelagem Didático-Científica Reflexiva de Brandão, Araujo e Veit, que, amparada na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, estabelece a modelagem científica como um campo conceitual subjacente aos campos da Física, definindo uma estrutura conceitual e invariantes operatórios de referência para o campo conceitual da modelagem didático-científica. Os resultados dos dois primeiros estudos levaram à realização de um estudo teórico em que foi ampliado o referencial de Brandão, Araujo e Veit. Com base em uma análise realizada sobre concepções de Bunge sobre a contrastação de ideias científicas, foram vinculados conceitos específicos do trabalho experimental, como os de evidência e de predição, com conceitos mais gerais do campo conceitual da modelagem didático-científica, como os de modelo teórico e de teoria geral. Associados aos conceitos especificamente relacionados com o fazer experimental, foram identificados doze novos invariantes operatórios de referência. A vinculação desses conceitos e invariantes operatórios ao processo de modelagem científica pode ser entendida como a contribuição original desta tese para a área de ensino de Física. Essa contribuição amparou a realização do terceiro estudo de caso. Resumidamente, os principais resultados dos estudos de caso foram: i) atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica têm potencial para promover atitudes positivas dos estudantes em relação às atividades experimentais; ii) a realização de debates explícitos sobre metamodelagem são essenciais para que os estudantes compreendam o processo de modelagem científica; e iii) o desenvolvimento de competências por parte dos estudantes relacionadas com o enfrentamento de problemas de modelagem demanda tempo e o enfrentamento de uma grande diversidade de situações. Esses resultados evidenciam que, para que os estudantes efetivamente se tornem competentes para construir, explorar e validar modelos científicos, situações de modelagem devem permear todo o currículo dos cursos de Física.

ABSTRACT

The dissociated manner in which theory and praxis are often handled in the physics education has contributed to the difficulty students have in making sense of scientific knowledge. Through the specific analysis of commonly developed laboratory classes in physics courses, one is able to frequently observe activities conducted through excessively guided plans. Such plans lead students to act in a mechanical way, with no sufficient thought on the theoretical basis that supports their inquiries. Through the understanding that it is fundamental for students to comprehend the process of scientific modeling so that they are able to link theory to practice in physics lessons, the main objective of this dissertation is considered to be the resignification of experimental activities through focus on the process of scientific modeling. To reach this objective, three case studies, under the methodological guidance of Yin, and one theoretical study have been conducted. In the case studies, the repercussions of the use of experimental activities with focus on the process of scientific modeling in an experimental subject on mechanical oscillation, fluids and thermodynamics for undergraduates in the Brazilian equivalent to a bachelor's course in physics were investigated. In the first case study, the activities were designed and conducted with the support of Hestenes' Modeling Cycle Methodology and of Bunge's conception of scientific modeling. From the second study on, the Reflexive Didactic-Scientific Modeling of Brandão, Araujo and Veit was also adopted. Grounded on Vergnaud's Theory of Conceptual Fields, the Reflexive Didactic-Scientific Modeling establishes scientific modeling as a conceptual field that underlies the fields of physics, defining a conceptual structure and referential operational invariants for the conceptual field of didactic-scientific modeling. The results of the first two studies led to a theoretical study in which the Brandão, Araujo and Veit's referential was amplified. With grounds on an analysis performed on Bunge's conceptions of the contrasting of scientific ideas, specific concepts from the experimental work, such as those of evidence and prediction, were linked to general concepts of the conceptual field of didactic-scientific modeling, such as those of theoretical modeling and of general theory. Twelve new referential operational invariants were identified, associated to the concepts specifically related to experimental work. The link between these concepts and operational invariants and the process of scientific modeling may be understood as the original contribution of this dissertation to the field of the physics education. This contribution supported the third case study. In summary, the main results of the case studies were: i) experimental activities with focus on the process of scientific modeling have the potential to promote positive attitudes towards experimental activities in students; ii) explicit debates on metamodeling are essential to students' comprehension of the process of scientific modeling; and iii) the development of competencies related to dealing with modeling problems by students demands time and facing a great diversity of situations. These results show that, in order for students to become effectively competent to build, explore and validate scientific models, modeling situations must be present throughout the curriculum of physics courses.

1. Introdução

“Professor, como eu devo responder estas questões? De acordo com o que você nos ensinou, ou da forma que penso sobre estas coisas?”. Tal questão, levantada por um aluno do professor Eric Mazur (1997, p.4) da Universidade de Harvard (EUA), evidencia a forma como uma significativa parcela dos estudantes interpreta a disciplina de Física: um punhado de teorias com pouca ou nenhuma conexão com a realidade. Identificar fatores que explicam tal situação não é tarefa complicada. O ensino de Física tem sido frequentemente pautado pela resolução de problemas acadêmicos que fazem referência exclusivamente a eventos e objetos já idealizados, nos quais são desprezados diversos aspectos da complexidade característica dos eventos reais. Com isso, o significado dos conhecimentos abordados nas aulas torna-se restrito para as situações enfrentadas dentro dos muros da escola.

Quando focamos a análise especificamente sobre os estudantes de cursos de graduação em Física, um dos aspectos que contribui para que os alunos tenham dificuldades para relacionar teorias e realidade é a forma dissociada como as aulas teóricas e experimentais são usualmente ministradas. De um lado, as aulas teóricas abordam os conteúdos científicos de forma descontextualizada, com uma forte ênfase em um formalismo matemático carente de significado para muitos dos alunos. De outro, as aulas experimentais envolvem atividades conduzidas com roteiros excessivamente dirigidos que levam os estudantes a realizar as tarefas de forma mecânica, com pouca ou nenhuma reflexão sobre os objetivos do que estão fazendo, sobre os modelos científicos empregados e também sobre o significado dos resultados alcançados.

Em suma, o que pode ser visto com bastante frequência no ensino de Física é uma nítida dicotomia entre teoria e prática: em um extremo estão as aulas teóricas, que abordam os conteúdos científicos de forma desconectada da realidade, e de outro as aulas experimentais, que promovem a realização de experimentos à margem de uma análise sobre como os modelos científicos são usados para representar os eventos físicos investigados com base em teorias gerais.

Frente a esse cenário, uma questão pertinente para a área de ensino de Física é: Como promover atividades que possibilitem que os estudantes vinculem teorias e realidade? Muitos pesquisadores da área apostam que o enfoque no processo de modelagem científica é uma alternativa promissora para, entre outras coisas, promover esse encadeamento (e.g., PIETROCOLA, 1999; BOULTER & GILBERT, 2000; HESTENES, 2006; KOPONEN, 2007; BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2012; ADÚRIZ-BRAVO, 2013).

Ainda que as metodologias e as concepções epistemológicas adotadas variem substancialmente entre os pesquisadores que defendem o enfoque do ensino de Ciências no processo de modelagem científica, o pressuposto básico de suas abordagens é de que os modelos são representações simplificadas da realidade com o intuito de descrever, analisar ou explorar objetos ou eventos reais ou supostos como tais. Desse modo, os modelos científicos podem assumir a posição de mediadores entre teorias e realidade quando os estudantes são envolvidos em atividades em que necessitem explorar e/ou construir modelos científicos com o intuito de compreender a realidade. Louca e Zacharia (2012), em uma revisão da literatura, constatam ainda

que o enfoque no processo de modelagem científica pode oportunizar aos estudantes momentos em que possam pensar e falar cientificamente sobre eventos físicos, compartilhando, debatendo, criticando e refletindo sobre os seus próprios aprendizados. Apesar disso, pesquisadores destacam que o enfoque no processo de modelagem científica é raramente implementado em salas de aula de Ciências (LOUCA, ZACHARIA & CONSTANTINOU, 2011; DANUSSO, TESLA, VICENTINI, 2010) e também que as concepções de estudantes e de professores de Física sobre modelos científicos e modelagem são, em sua maioria, inadequadas (COLL & LAJIUM, 2011; GILBERT, 2004; ISLAS & PESA, 2003; BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2010).

Nesta tese, procurando enfrentar o problema da dissociação teoria-prática presente no ensino de Física, tomamos a decisão de nos aliarmos às pesquisas da área que procuram enfatizar o processo de modelagem científica no ensino de Física. Nosso propósito é estabelecer um novo significado para as atividades experimentais por meio do enfoque no papel dos modelos científicos no delineamento, na execução e na interpretação das investigações empíricas. Tal escolha foi realizada também em função das diversas críticas que as aulas de laboratório tradicionais vêm sofrendo na literatura (e.g., ANDRÉS, PESA & MOREIRA, 2006; BORGES, 2002; CARVALHO, 2010; HODSON, 1994; LUNETTA, HOFSTEIN & CLOUGH, 2007; TRUMPER, 2003). Elas acabam por justificar a necessidade de que pesquisadores da área de ensino de Ciências dediquem esforços para promover diferentes dinâmicas para as atividades experimentais que efetivamente possibilitem que os estudantes progredam no sentido de se tornarem competentes¹ para enfrentar situações que envolvam o fazer experimental. Além disso, é importante que essas dinâmicas oportunizem aos alunos evoluir suas concepções² sobre a natureza da Ciência, alinhando-as com concepções epistemológicas contemporâneas.

Resumidamente, o objetivo geral desta tese é propor uma resposta para a seguinte questão: *Como podemos promover atividades de ensino que vinculem teorias científicas e prática experimental através do processo de modelagem científica?*

Frente a esse objetivo, a metodologia de ensino denominada ciclos de modelagem³, de David Hestenes (2006), mostrou-se uma alternativa interessante para servir de ponto de partida para esta investigação em função dela ter uma forte ênfase no processo de modelagem em aulas experimentais e dos bons resultados obtidos com o seu uso em pesquisas já desenvolvidas (e.g., BREWE, 2008; JACKSON, DUCKRICH & HESTENES, 2008; LING *et al.*, 2012; MALONE, 2008).

Hestenes propõe com seus ciclos de modelagem que, nas aulas de Ciências, os estudantes sejam confrontados com situações em que eles necessitem construir, utilizar e avaliar modelos

¹ Indo ao encontro das ideias de Vergnaud (1996; 2013b), assumimos que o termo *competências* engloba as ações que tornam um indivíduo apto para enfrentar de maneira exitosa um conjunto de situações. Essas ações podem ser entendidas como uma manifestação da forma operatória do conhecimento do indivíduo.

² Segundo Vergnaud (1995 *apud* FRANCHI, 1999), enquanto *competências* são expressas em termos de ações julgadas adequadas para se tratar uma situação, as *concepções* são geralmente expostas por uma sequência de enunciados. Complementando, Weil-Barais & Vergnaud (1990) associam o termo *concepção* com os significados e significantes dos conceitos de um campo de conhecimento, independentemente se eles são ou não compartilhados cientificamente.

³ Os ciclos de modelagem de Hestenes vêm sendo amplamente divulgados e utilizados nos Estados Unidos, onde aproximadamente 10% dos professores de Física já participaram de, no mínimo, um curso de formação para se familiarizar com a proposta (BREWE, 2008). Somente no verão de 2011, por exemplo, foram realizados quarenta e oito workshops envolvendo mais de oitocentos professores (MIP, 2011).

científicos. Para isso, o autor sugere que as atividades de ensino envolvam o desenvolvimento de três fases. Na primeira delas, o professor apresenta um problema com o objetivo de envolver os estudantes na modelagem de um evento físico. Na segunda, os estudantes desenvolvem uma investigação experimental e/ou computacional com o objetivo de resolver o problema proposto. A terceira fase é reservada para que os estudantes compartilhem suas investigações na forma oral e escrita, para que eles desenvolvam competências relacionadas com a divulgação de resultados de pesquisas. Hestenes propõe ainda que, no encerramento dos ciclos de modelagem, os estudantes implementem o modelo construído ou explorado na investigação desenvolvida em novas situações que podem envolver novos experimentos, uma implementação computacional, um problema acadêmico etc.

Um dos aspectos centrais da proposta de Hestenes está em solicitar aos alunos que comparem dados empíricos com predições construídas com base em modelos científicos, estimulando-os a analisar as correspondências e as diferenças entre modelos e realidade. Em função disso, julgamos que os ciclos de modelagem têm potencial para evidenciar aos estudantes o caráter representacional dos modelos científicos e, como consequência, promover uma vinculação entre teoria e prática no ensino de Física. No entanto, apesar dos ciclos de modelagem fornecerem importantes contribuições para a área de ensino de Física, o amparo teórico e epistemológico da proposta é deficiente, como será discutido em maior detalhe no Capítulo 3, juntamente com uma apresentação mais profunda dessa metodologia.

Nesta tese, com o intuito de fundamentar teórico-epistemologicamente atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica, além de nos inspirarmos nas ideias de Hestenes, usamos a concepção de Mario Bunge (1974) sobre o processo de modelagem científica e a Teoria dos Campos Conceituais de Gerard Vergnaud (2009). Mais especificamente, adotamos a concepção de que o processo de modelagem científica constitui um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física. Para isso, nos apoiamos na costura teórica proposta por Brandão, Araujo e Veit (2012) denominada Modelagem Didático-Científica Reflexiva.

Utilizar conceitos, leis e princípios relacionados aos diferentes campos da Física na resolução de autênticos problemas do mundo real não é uma tarefa simples para os estudantes. Nesses casos, é necessário, por exemplo, simplificar o evento investigado para torná-lo abordável à luz de conhecimentos científicos. Nesse processo, o estudante precisa adotar uma postura crítica e reflexiva avaliando a adequação das suas decisões de desprezar ou de considerar elementos do evento investigado para a resolução do problema enfrentado. Desse modo, para esses casos, apenas conhecimentos predicativos⁴ são insuficientes; faz-se necessário saber representar os eventos de

⁴ Vergnaud (2013b, p. 147) argumenta que manifestamos “nossos conhecimentos tanto pelo que dizemos quanto pelo que fazemos em situação”, e que pode existir “uma defasagem impressionante entre o que uma pessoa pode fazer em situação e o que ela é capaz de dizer sobre o que ela faz” (VERGNAUD, 2014, p. 366). Frente a isso, o autor defende que “um dos problemas do ensino é desenvolver ao mesmo tempo a *forma operatória do conhecimento*, isto é, o saber-fazer, e a *forma predicativa do conhecimento*, isto é, o saber explicitar os objetos e suas propriedades” (VERGNAUD, 1996, p. 13, grifo nosso). No contexto da Física, podemos dizer que a forma predicativa do conhecimento pode ser manifesta por meio de enunciados, orais ou escritos, que envolvem conceitos, leis e princípios. Já a forma operatória, por meio do êxito no enfrentamento de situações relacionadas

forma esquemática e simplificada, ou seja, faz-se necessária a manifestação da forma operatória do conhecimento. Em acordo com essas ideias, Brandão, Araujo e Veit (2012) adotam a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud para argumentar que, no processo de representação da realidade, a modelagem científica pode ser entendida como um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física. Os autores defendem ainda que, no ensino de Física, é fundamental que professores proponham aos estudantes problemas menos idealizados para que eles enfrentem situações que possibilitem a ampliação de seus domínios sobre o campo conceitual da modelagem científica⁵.

Procurando esclarecer como os conhecimentos predicativos são mobilizados pelos estudantes quando enfrentam problemas não idealizados em Física, Brandão, Araujo e Veit (idem) se apoiam na concepção de modelagem de Bunge para primeiramente propor uma estrutura conceitual de referência do campo conceitual da modelagem didático-científica. Nela, os autores relacionam conceitos considerados fundamentais no processo de construção, exploração e validação de modelos científicos, quais sejam: questão(ões) de pesquisa, teoria geral, objeto-modelo, modelo teórico, referente, sistema físico, aproximação, idealização, variáveis, parâmetros, domínio de validade, grau de precisão, expansão e generalização. Complementando, os autores apresentam ainda doze possíveis invariantes operatórios⁶ de referência para as situações que dão sentido aos conceitos que constituem essa estrutura conceitual. Por exemplo, o conceito de *idealização* é vinculado ao seguinte invariante operatório: *Dado um sistema físico, decidir quais dos seus traços-chave apreender*. Vinculado aos conceitos de variável e parâmetro, é proposto o seguinte invariante operatório: *Identificar quais variáveis/parâmetros são necessárias para representar o sistema físico e quais delas podem assumir valores numéricos contínuos e quais discretos*.

O desenvolvimento da Modelagem Didático-Científica Reflexiva proporciona uma fundamentação teórica-epistemológica consistente para professores de Física que procuram delinear e avaliar atividades de ensino com enfoque no processo de modelagem científica. No entanto, o alvo da costura teórica estabelecida por Brandão, Araujo e Veit (idem) é o processo de modelagem científica em um âmbito geral. Não estava nos objetivos desses autores a intenção de destacar especificidades do trabalho experimental dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica. Em função disso, conceitos como de *evidência*, *predição* e *experimento*, que são conceitos indispensáveis no processo de contrastação empírica dos modelos científicos e, conseqüentemente, com o processo de modelagem científica, não são expostos na estrutura conceitual de referência da Modelagem Didático-Científica Reflexiva. A ausência desses conceitos assim como de invariantes

com os diversos campos da Física. Mais detalhes sobre a diferenciação entre as formas operatória e predicativa do conhecimento serão expostos no Capítulo 3.

⁵ Adotando as ideias de Vergnaud (1993), é assumido nesta tese que o domínio de um campo conceitual por parte de um indivíduo é progressivo, envolvendo rupturas, avanços e retrocessos. Desse modo, o termo “domínio” não é empregado com base em uma lógica binária, em que o sujeito domina ou não um campo conceitual, mas sim considerando que é possível dominar parcialmente campos conceituais da Física e ampliar tal domínio na medida em que novas situações são enfrentadas.

⁶ Invariantes operatórios são, para Vergnaud (2014), os conhecimentos implícitos ou explícitos que nos permitem, em situação, identificar e reconhecer os objetos, suas relações e suas transformações. A principal função dos invariantes operatórios é possibilitar a seleção das informações pertinentes da situação e, a partir delas, inferir conseqüências úteis para a ação e para a tomada de informação subsequente. Mais detalhes sobre o conceito de invariante operatório de Vergnaud serão expostos no Capítulo 3.

operatórios e de situações relacionadas ao trabalho experimental dentro da concepção do campo conceitual da modelagem didático-científica de Brandão, Araujo e Veit (idem) podem ser entendidas como lacunas que ganham importância quando as ideias desses autores são utilizadas na fundamentação, no delineamento e na análise de atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica.

Nesta tese, convencidos da importância de preenchermos a referida lacuna, realizamos uma análise profunda da obra de Bunge com o objetivo de esclarecer a sua concepção sobre o papel das operações empíricas no processo de modelagem científica. Em seguida, desenvolvemos um estudo que buscou elucidar o posicionamento dos conceitos e esquemas de ação próprios do trabalho experimental dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica. Com isso, vinculamos conceitos como *predição*, de *evidência* e de *contrastação* com outros já estabelecidos na Modelagem Didático-Científica Reflexiva como, por exemplo, de *modelo teórico* e de *teoria geral*. Além disso, propomos doze novos invariantes operatórios de referência para o campo conceitual da modelagem didático-científica associados a conceitos relacionados com o trabalho experimental. Por exemplo, vinculado ao conceito de *controle de variáveis*, apresentamos o seguinte invariante operatório: *Estabelecer procedimentos de controle de variáveis que minimizem a influência dos fatores desprezados no modelo teórico de referência da investigação*. Associado ao conceito de *operação empírica*, é proposto o seguinte invariante operatório: *Definidas as grandezas que necessitam ser conhecidas em uma investigação, delinear operações empíricas para a coleta de dados empíricos pertinentes para a pesquisa*.

Pode-se dizer que a tese defendida nesta investigação é que *o campo conceitual da modelagem didático-científica engloba conceitos, situações e esquemas de ação que são vinculados especificamente com o processo de contrastação empírica de ideias científicas*. Com a construção teórica constituída em decorrência dessa defesa, procuramos firmar uma continuidade em relação aos estudos de Brandão, Araujo e Veit (idem), buscando contribuir com um corpo de conhecimento original para a área de ensino de Física. Esse corpo de conhecimento tem potencial para fundamentar o desenvolvimento de investigações que procurem promover e avaliar situações que possibilitem que os estudantes desenvolvam competências relacionadas com a modelagem de eventos reais, em especial relacionadas com o trabalho experimental, vinculando teoria e prática nas aulas de Física.

Nos próximos capítulos, passaremos a expor detalhadamente o caminho percorrido na realização dos estudos que compõem esta tese. Iniciaremos apresentando no Capítulo 2 uma revisão da literatura, que foi realizada com enfoque em artigos que envolvem: i) o enfoque no processo de modelagem científica; e ii) o uso de atividades experimentais no ensino de Ciências. Já no Capítulo 3, apresentamos os referenciais teóricos utilizados nos estudos realizados. Inicialmente, expomos a metodologia de Ciclos de Modelagem de Hestenes (2006) na Seção 3.1. Em seguida, na Seção 3.2, são apresentados os principais aspectos da concepção de Ciência de Bunge (1974; 1989; 2010), focando-se principalmente em seu entendimento sobre o processo de modelagem científica e sobre a contrastação empírica das ideias científicas. A Seção 3.3 é usada para detalhar a Teoria dos Campos

Conceituais de Vergnaud (1993; 1996; 1998; 2009; 2012). Na Seção 3.4, a concepção de que a modelagem científica constitui um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física é defendida por meio da Modelagem Didático-Científica Reflexiva de Brandão, Araujo e Veit (2012).

Amparados pelas orientações metodológicas de Yin (2005; 2011), apresentamos no Capítulo 4 a metodologia de pesquisa que norteou os três estudos empíricos realizados. Entre outras coisas, é nesse capítulo que esclarecemos os motivos que nortearam a escolha do contexto de pesquisa das investigações desenvolvidas, que foi na disciplina “Física Experimental II – A”, do Instituto de Física da UFRGS. O primeiro e o segundo estudos empíricos desta tese são detalhados nos Capítulos 5 e 6, respectivamente. Esses estudos salientaram a necessidade de realizarmos o estudo teórico que é apresentado no Capítulo 7. Nele, posicionamos o trabalho experimental dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica, incorporando à estrutura teórica original de Brandão, Araujo e Veit conceitos, invariantes operatórios e situações específicos do processo de contrastação empírica das ideias científicas. No Capítulo 8, é exposto um terceiro estudo empírico que é amparado pelo estudo teórico desenvolvido. Por fim, expomos no Capítulo 9 as considerações finais desta investigação, debatendo especialmente as implicações para o ensino de Física das construções teóricas apresentadas nesta tese, assim como as lacunas no conhecimento produzido que ainda precisarão ser preenchidas em estudos futuros.

2. Revisão da Literatura

A revisão da literatura realizada nesta tese será exposta neste capítulo em subseções. Inicialmente, na seção 2.1, detalharemos o escopo da revisão desenvolvida. Em seguida, expomos na seção 2.2 uma reflexão baseada nos artigos revisados sobre o ensino de Ciências com enfoque no processo de modelagem científica. Passamos então a apresentar outra reflexão sobre atividades experimentais no ensino de Física na seção 2.3. Por fim, na seção 2.4, debatemos sobre as implicações desta revisão da literatura para os estudos realizados nesta tese.

2.1 Escopo da revisão

A revisão da literatura realizada nesta tese teve dois focos: i) o enfoque no processo de modelagem científica no ensino de Ciências⁸, e ii) o uso de atividades experimentais no ensino de Física. Cientes de que nossas investigações seriam realizadas com estudantes de graduação em Física, incluindo futuros professores que cursam licenciatura, optamos por analisar pesquisas centradas no Ensino Superior ou na formação de professores, abrangendo também investigações que procuram identificar as concepções de estudantes de graduação e de professores de Ciências sobre atividades experimentais e sobre o processo de modelagem científica. Procurando por pesquisas ou reflexões sobre os dois focos de interesse desta revisão, selecionamos artigos publicados no período de 2007 a 2012 nos seguintes periódicos:

- Journal of Research in Science Teaching,
- Science & Education,
- Science Education,
- Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias,
- Revista Electrónica de Investigación en Educación de las Ciencias,
- Ciência & Educação,
- Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências,
- Revista Brasileira de Ensino de Física,
- Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências,
- International Journal of Science Education,
- Enseñanza de las Ciencias,
- Investigações em Ensino de Ciências,
- Caderno Brasileiro de Ensino de Física,
- Physics Review Special Topics – Education Research,
- American Journal of Physics.

A seleção dos artigos foi realizada por meio da análise dos títulos e dos resumos dos artigos.

⁸ Não abarcamos na revisão artigos que tratavam exclusivamente do ensino de Biologia ou de Química. Selecionamos apenas as publicações que debatiam sobre o ensino de Ciências em um âmbito geral, incluindo assim o ensino de Física.

Ampliando a revisão, incorporamos à análise alguns dos artigos e capítulos de livros publicados por autores renomados na área de ensino de Ciências que abordam os dois focos de interesse desta revisão de literatura. Desse modo, sobre o enfoque no processo de modelagem científica, agregamos sete artigos (PIETROCOLA, 1999; GRECA & MOREIRA, 2002; ISLAS & PESA, 2003; GILBERT, 2004; JUSTI, 2006; HESTENES, 2006; LOUCA & ZACHARIA, 2012) e dois capítulos de livros (LEDERMAN, 2006; COLL & LAJIUM, 2011) aos 27 artigos selecionados por meio da revisão das revistas acima citadas (LOPES & COSTA, 2007; PORTIDES, 2007; DEVELAKI, 2007; HALLOUN, 2007; MATTHEWS, 2007; KOPONEN, 2007; SILVA, 2007; HENZE, VAN DRIEL & VERLOOP, 2007; BUFFLER et al., 2008; BREWE, 2008; OLIVA-MARTÍNEZ & ARAGÓN-MÉNDEZ, 2009; SCHWARZ, 2009; BREWE, KRAMER & O'BRIEN, 2009; DANUSSO, TESLA, VICENTINI, 2010; BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2010; BREWE et al., 2010; BRANDÃO et al., 2011; OH & OH, 2011; LÓPEZ-RÍOS, ARAUJO & VEIT, 2011; RAVIOLO et al., 2011; BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2011; ARAUJO, VEIT & MOREIRA, 2012; PASMORE & SVOBODA, 2012; PORTOLÉS, 2012; UHDEN et al., 2012; NELSON & DAVIS, 2012; FAZIO, DI PAOLA & GUASTELLA, 2012), totalizando 36 artigos e capítulos de livros.

Sobre o uso de atividades experimentais, juntamos 11 artigos (HODSON, 1994; GIL PÉREZ et al., 1999; RONEN & ELIAHU, 2000; BORGES, 2002; TRUMPER, 2003; ZACHARIA & ANDERSON, 2003; HOFSTEIN & LUNETTA, 2004; FINKELSTEIN et al., 2005; ANDRÉS, PESA & MOREIRA, 2006; MARINELLI & PACCA, 2006; SARAIVA-NEVES, CABALLERO & MOREIRA, 2006) e dois capítulos de livros (GUILLON & SÉRÉ, 2002; CARVALHO, 2010) aos 22 artigos que já havíamos identificado nos periódicos pesquisados (LABURÚ, BARROS & KANBACH, 2007; ABRAHAMS & MILLAR, 2008; BAROLLI & FRANZONI, 2008; COELHO, NUNES & WIEHE, 2008; ANDRÉS, PESA & MENESES, 2008; ZACHARIA, OLYMPIOU & PAPAERVIPIDOU, 2008; VOLKWYN et al., 2008; ANTÚNEZ, PÉREZ & PETRUCCI, 2008; ZACHARIA & CONSTANTINOU, 2008; CHAGAS & MARINS, 2009; BUFFLER, LUBBEN & IBRAHIM, 2009; FILHO & PENA, 2009; BAROLLI, LABURÚ & GURIDI, 2010; MONTINO et al., 2011; LABURÚ & SILVA, 2011; JAIME & ESCUDERO, 2011; PACCA & SCARINCI, 2011; DEACON & HAJEK, 2011; OLYMPIOU & ZACHARIA, 2011; DORNELES, ARAUJO & VEIT, 2012; WERLANG et al., 2012; CHINI et al., 2012), totalizando 35 artigos e capítulos de livros.

Nas próximas seções, apresentamos reflexões sobre o enfoque no processo de modelagem científica no ensino de Ciência e sobre o uso de atividades experimentais no ensino de Física.

2.2 Sobre o ensino de Ciências com enfoque no processo de modelagem científica

O papel dos modelos e da modelagem tem sido tratado com destaque tanto por filósofos da Ciência (e. g., BUNGE, 1974; CARTWRIGHT, 1983; GIÉRE, 2004) como por psicólogos cognitivistas (e. g., JOHNSON-LAIRD, 1983; VOSNIADOU, 2002). Ambos os grupos costumam utilizar a palavra “modelo” para designar uma representação simplificada de um objeto ou evento. No entanto, as ênfases dadas a esse termo apresentam importantes diferenças. Por exemplo, os modelos mentais usualmente debatidos pelos psicólogos são representações particulares construídas por indivíduos,

ou seja, são representações internas que contêm muitos aspectos não explicitáveis. Já os modelos científicos, típicos dos debates travados por filósofos, são representações consensuais para um grupo de cientistas, ou seja, são representações externas que podem ser compartilhadas. Naturalmente, essas ideias acabaram influenciando pesquisadores que se interessam pelo ensino de Ciências (e. g., CLEMENT, 2000; GRECA & MOREIRA, 2002; GILBERT, 2004; JUSTI, 2006; HALLOUN, 2007; MATTHEWS, 2007). Dependendo de suas influências, esses pesquisadores adotam diferentes abordagens quando tratam do processo de modelagem. Na presente investigação, nos limitamos a tratar apenas do papel dos modelos e da modelagem no ensino de Ciências em um nível social, ou seja, do papel das representações externas no desenvolvimento de modelos compartilháveis construídos com o intuito de explicar um evento físico específico.

Frequentemente expresso de modo informal entre cientistas, o significado do termo “modelo” não é consensual tanto para os que o usam para se referir a modelos mentais (KRAPAS et al., 1997) quanto para os que o empregam para se referir a modelos científicos (OH & OH, 2011; LOUCA & ZACHARIA, 2012). No entanto, pode-se identificar a palavra “representação” na grande maioria das concepções adotadas por epistemólogos da Ciência (OH & OH, 2011). O âmago dessas concepções é o entendimento de que os modelos científicos são construções humanas que buscam representar simplificada e eventos físicos amparadas em teorias gerais. Apesar de serem externalizáveis, essas representações envolvem conceitos abstratos (por exemplo, o conceito de campo) que, na maioria dos casos, são estruturados em equações matemáticas (UHDEN et al., 2012). A compreensão do termo modelagem científica também não é consensual. Analisando as concepções desse processo presentes na literatura, Louca e Zacharia (2012) concluem que ele é frequentemente descrito por pesquisadores da área de ensino de Ciências como uma sequência de etapas que se desenvolvem na tentativa de se resolver um problema relacionado com um evento físico. Segundo os autores, as seguintes etapas sintetizam o cerne das diferentes concepções do processo de modelagem científica encontradas na literatura: a) realização de observações sistemáticas e/ou coleta de dados sobre o evento em estudo; b) construção de um modelo do evento com base nessas observações e dados; c) avaliação do modelo sob o ponto de vista da sua utilidade, poder preditivo, ou adequação para explicar o evento, e d) revisão do modelo e uso dele em novas situações.

Não são poucos os autores que enfatizam que os modelos são as “pontes” que unem as teorias científicas e os eventos físicos (e. g., GILBERT, 2004; KOPONEN, 2007; OH & OH, 2011). Essa visão decorre da concepção de que os modelos são confeccionados com objetivos particulares para representarem simplificada e eventos específicos por meio do amparo em leis científicas gerais (e. g., as Leis de Newton). Essas leis não apresentam referentes imediatos na realidade. Nessa perspectiva, modelos, contextos particulares e leis da Ciência são mutuamente dependentes (LOUCA & ZACHARIA, 2012). Uma reflexão sob esse ponto de vista nos permite entender os motivos pelos quais os estudantes interpretam os modelos como cópias de um evento físico e apresentam falta de habilidade para confeccionarem modelos (COLL & LAJIUM, 2011; HENZE, VAN DRIEL & VERLOOP, 2007). Enquanto a Ciência pode ser compreendida como uma rede complexa de modelos (KOPONEN, 2007; HESTENES, 2006), o ensino de Ciências tem sido tradicionalmente desenvolvido

de modo fragmentado, fundamentado por conteúdos isolados e pouco contextualizados, não enfatizando o caráter representacional dos modelos (GILBERT, 2004; DEVELAKI, 2007; BREWE, 2008). O enfoque nos modelos no ensino de Ciências, portanto, pode ser justificado por razões epistemológicas. Os princípios teóricos são empiricamente validados somente através de suas implementações em modelos (BUNGE, 1974). O planejamento e a análise dos experimentos científicos, portanto, demandam um marco teórico de referência (ANDRÉS, PESA & MOREIRA, 2006) que é fundamentado por um modelo científico.

Chevallard (1991) destaca que o saber sábio, que é o saber desenvolvido pelos cientistas, passa por uma transposição didática antes de se tornar saber ensinado, ou seja, o saber efetivamente debatido nas salas de aula. Desse modo, os modelos ensinados nas aulas de Ciências não são necessariamente os modelos científicos compartilhados pelos cientistas; são versões simplificadas que podem ser denominadas de modelos curriculares (GILBERT, 2004; JUSTI, 2006), modelos conceituais (GRECA & MOREIRA, 2002) ou modelos didático-científicos (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2011). Faz parte do trabalho de um professor, portanto, delinear alguns dos modelos mais importantes da Ciência e tratar dos seus aspectos essenciais com seus alunos (GILBERT, 2004), se valendo dos modos como esses aspectos podem ser representados. Gilbert (2004) destaca cinco modos distintos:

- O *modo concreto* resulta em representações tridimensionais confeccionadas com materiais dispostos em maquetes, protótipos, etc. Exemplo: os átomos de uma rede cristalina podem ser representados pela organização de bolas coloridas unidas por hastes.
- O *modo verbal* é constituído por uma descrição contendo proposições na forma escrita ou falada. Exemplo: a descrição do modelo de gás ideal clássico por meio de proposições expostas oralmente.
- O *modo simbólico* envolve o uso de símbolos e equações matemáticas. Exemplo: as equações que representam as forças gravitacionais envolvidas em um modelo planetário newtoniano.
- O *modo visual* faz uso de tabelas, gráficos, diagramas, etc. Exemplo: o uso de linhas de corrente para representar um escoamento segundo o modelo de fluido viscoso.
- O *modo gestual* se vale de gestos corporais. Exemplo: o uso das mãos para representar a direção e o sentido do campo magnético que circunda um fio que conduz uma corrente elétrica segundo modelos baseados na teoria eletromagnética.

Hestenes (2006) ressalta o papel das representações de modo visual e verbal dos modelos científicos. Ele defende que o ensino centrado na modelagem deve favorecer a aprendizagem dos alunos sobre ferramentas verbais e gráficas. Para o autor, o discurso e a capacidade de argumentação dos estudantes evoluem na medida em que eles adquirem domínio sobre esses instrumentos. Além disso, o modo simbólico apoiado na matemática, que pode ser entendida como a linguagem estruturante do conhecimento físico (PIETROCOLA, 2002; UHDEN et al., 2012), assume papel de destaque na modelagem, pois facilita a obtenção de predições de um modelo científico, se

tornando fundamental para uma sólida avaliação da adequação dos modelos teóricos para descreverem eventos físicos.

Além das ferramentas de representações, as analogias são recursos importantes utilizados durante o processo de modelagem científica (SILVA, 2007; OLIVA-MARTÍNEZ & ARAGÓN-MÉNDEZ, 2009; RAVIOLO et al., 2010). Raviolo et al. (2010) apresentam resultados que mostram que professores em formação compreenderam melhor a natureza dos modelos científicos após realizarem atividades que evidenciam o papel do raciocínio analógico. Eles definem esse raciocínio como “uma atividade de comparação de estruturas e funções entre dois domínios: um domínio conhecido (análogo) e um domínio novo (objetivo)” (idem, p. 62). Uma analogia compreende então um conjunto de relações ou correspondências entre esses domínios, além de uma série de atributos não compartilhados que evidenciam as limitações da analogia.

Silva (2007) destaca que a relação entre modelos científicos e eventos modelados é analógica. Um modelo de pêndulo simples pode ser formalmente análogo a um modelo de um circuito elétrico oscilante. Um conjunto de moléculas pode ser entendido como materialmente análogo a um conjunto de bolas de bilhar que se movem randomicamente e se chocam entre elas. A autora destaca então que moléculas e bolas de bilhar não são completamente iguais, mas apresentam propriedades idênticas ou similares. Ela apresenta ainda eventos históricos em que o raciocínio analógico foi decisivo para o desenvolvimento da Ciência, como as analogias entre fluxo de calor e atração eletrostática realizadas por William Thomson.

Oliva-Martínez e Aragón-Méndez (2009) argumentam que analogias constituem uma ferramenta muito importante não somente para a aprendizagem de conceitos, mas também para o desenvolvimento das competências necessárias para o ato de modelar. A avaliação dessas competências é o tema do trabalho de Lopes e Costa (2007). Os autores argumentam que os estudantes precisam aprender a descrever e representar sistemas físicos em diversas linguagens (esquemas, gráficos, diagramas) e ser capazes de traduzir uma linguagem em outra. Eles destacam ainda que o ensino de Ciências precisa tornar claro aos estudantes que os conceitos não são diretamente usados em situações-problema, mas que, antes disso, os objetos e eventos precisam ser “conceitualizados”. Por exemplo, dependendo da situação enfrentada, uma bola pode ser “conceitualizada”⁹ como um corpo pontual, esférico, ou com qualquer outro formato. Qualquer que seja a escolha do modelador, os conceitos físicos serão utilizados na construção de representações da bola “conceitualizada”, e não precisamente da bola real.

Indo ao encontro da concepção de que o ensino de Ciências precisa favorecer o desenvolvimento de competências por parte dos estudantes para construir, usar e avaliar modelos científicos, Justi (2006, p. 174) se inspira nos trabalhos de Hodson (1992) para estabelecer três finalidades básicas do ensino de Ciências. São elas:

⁹ Nesta tese, usamos a expressão *idealizado* para qualificarmos as descrições simplificadas da realidade construídas durante o processo de modelagem científica. Reservamos o termo *conceitualização* para nos referirmos ao processo de explicitação dos objetos do mundo, suas propriedades, relações e transformações (VERGNAUD, 2007 *apud* BRANDÃO, 2012).

- *Aprender Ciência*: os alunos devem ter conhecimentos sobre a natureza, âmbito de aplicação e limitações dos principais modelos científicos.
- *Aprender sobre Ciências*: os alunos devem compreender adequadamente a natureza dos modelos e ser capazes de avaliar o papel deles no desenvolvimento e na difusão dos resultados da investigação científica.
- *Aprender a fazer Ciência*: os alunos devem ser capazes de criar, expressar e validar seus próprios modelos.

Louca e Zacharia (2012), em um artigo de revisão da literatura, sintetizam as principais potencialidades relacionadas com a promoção do desenvolvimento cognitivo dos alunos que realizam atividades com enfoque na modelagem científica no ensino de Ciências. Segundo eles, tal enfoque possibilita aos estudantes melhores resultados relacionados com: i) compreensão conceitual dos conteúdos científicos, ii) compreensão da natureza operatória da Ciência, iii) capacidade para empregarem habilidades procedimentais e de raciocínio na resolução de problemas, iv) desenvolvimento do pensamento e da linguagem científica possibilitando o compartilhamento, a discussão e a crítica de suas ideias, promovendo a reflexão sobre as suas próprias aprendizagens. Os autores destacam ainda que quando os estudantes estabelecem claramente seus objetivos no início de suas investigações, eles despendem mais tempo refletindo holisticamente sobre o modelo que construirão, culminando no uso de evidências precisas e convincentes para apoiar suas decisões de modelagem. Ainda que se possa identificar uma série de potencialidades relacionadas ao desenvolvimento cognitivo dos estudantes, Louca e Zacharia (idem) argumentam que mais investigações são necessárias, pois a maioria dos estudos que investiga aspectos cognitivos no ensino de Ciências se volta somente para os resultados, sendo poucos os que centram a atenção no processo envolvido na modelagem.

Apesar do potencial que têm para dar sentido aos conceitos, por si só a exposição de modelos científicos não contextualiza o ensino de Física, pois a simples apresentação de relações ilustrativas com o cotidiano dos alunos ou de exemplos de aplicações da Física não é suficiente para isso. Ricardo (2010) destaca que “um ensino contextualizado é resultado das escolhas didáticas do professor, envolvendo conteúdos e metodologias, e com um projeto de ensino bem definido”. É por esse e outros motivos que diversas são as propostas de atividades no ensino de Física focadas na modelagem (e. g., HESTENES, 2006; UHDEN et al., 2011; ARAUJO, VEIT & MOREIRA, 2012). Enquanto metodologias, visam evidenciar as relações entre modelos e eventos físicos, possibilitando o desenvolvimento de um ensino de Física contextualizado. Nessa perspectiva, Pietrocola (1999, p. 225-226) destaca esse papel da modelagem no ensino de Física:

Ao introduzirmos a modelização¹⁰ como objeto do ensino de Física estaremos instrumentalizando os alunos a representarem a realidade a partir das teorias gerais. A preocupação com o contexto de construção do conhecimento científico não deve ser deixado de lado, mas submetido ao objetivo maior da educação científica que é o de assegurar ao indivíduo uma melhor relação com o mundo em que vive. A explicitação e exemplificação das teorias Físicas como capazes de nos fornecer um quadro da realidade, mesmo que ele seja pintado em

¹⁰ O termo modelização é utilizado por alguns autores com o mesmo significado do termo modelagem.

diversos estilos diferentes, gera competição (no aspecto positivo do termo) entre as concepções científicas e as concepções alternativas. A possibilidade de comparação e a tomada de decisões sobre qual forma representar a realidade tornará os alunos mais críticos e mais capazes de desfrutar dos insights que têm apaixonado cientistas ao longo dos tempos.

Resultados da literatura têm apontado também que o mero envolvimento dos estudantes em atividades de confecção, uso e avaliação de modelos não é suficiente para que eles alcancem concepções epistemológicas sofisticadas (LEDERMAN, 2006; KOPONEN, 2007). Para isso, é necessário que as atividades envolvam também aspectos relacionados à meta-modelagem que permitam que os alunos desenvolvam teorias explícitas sobre a natureza dos modelos e da modelagem (LEDERMAN, 2006). Atividades focadas no desenvolvimento das concepções dos estudantes sobre a natureza dos modelos e da modelagem devem, portanto, ser explicitamente desenvolvidas para isso por meio de um apoio epistemológico profundo e consistente, o que frequentemente não tem ocorrido com as metodologias propostas na área (KOPONEN, 2007). Isso foi corroborado no Estudo 1 desta tese, o que influenciou fortemente as atividades desenvolvidas no Estudo 2. Por outro lado, Nelson e Davis (2012) argumentam que para o desenvolvimento de concepções adequadas sobre modelos e modelagem é importante não somente oportunizar o debate teórico sobre modelos e modelagem, mas também envolver o indivíduo em situações de modelagem em conteúdos específicos de Ciências.

O Quadro 2.1 apresenta uma comparação proposta por Brewe (2008) entre o ensino centrado em atividades com enfoque na modelagem científica e o ensino tradicional.

Quadro 2.1 – Comparação entre o ensino focado na modelagem científica e os cursos tradicionais (BREWE, 2008).

Ensino centrado na Modelagem	Cursos Tradicionais
Modelos são construídos baseados em leis físicas e em condições de contorno.	Leis são apresentadas na forma de equações e são usadas na resolução de problemas.
Modelos são construídos com o auxílio de ferramentas de representação e então são usados para resolver problemas.	A resolução de problemas é predominantemente uma atividade de manipulação de equações.
Modelos são temporários e podem ser validados, refinados e expandidos.	O conteúdo é permanente; a validação já foi realizada.
Modelos são aplicados em situações físicas específicas.	Leis são aplicadas em situações físicas específicas.
A modelagem é um processo que é aprendido pelo acúmulo de experiência.	A resolução de problemas é um jogo que requer truques e é aprendida pela resolução de um grande número de problemas.
Modelos são distintos dos fenômenos que representam e podem incluir elementos causais, descritivos e preditivos.	O conteúdo é indistinguível do fenômeno físico.

Louca e Zacharia (2012) destacam que as relações sociais estabelecidas em atividades focadas no processo de modelagem científica é um aspecto ainda pouco investigado na literatura, mas os escassos trabalhos que se voltam para essa análise identificam potencialidades em atividades que envolvem os estudantes no uso e na confecção de modelos. Brewe et al. (2010), por

exemplo, observaram maior engajamento de estudantes historicamente sub-representados na Física (negros, hispânicos e mulheres) ao desenvolverem atividades que envolvem construção, uso, validação e compartilhamento de modelos científicos. Já Passmore & Svoboda (2012) defendem que o engajamento dos estudantes em discursos argumentativos durante o compartilhamento de ideias em atividades de modelagem pode promover uma melhor compreensão sobre o conteúdo científico estudado.

Hoje já é possível se introduzir praticamente todos os detalhes de modelos teóricos em programas de computador, que emulam o comportamento de eventos físicos com rapidez e facilidade impressionantes. Por isso, o computador vem assumindo papel de destaque na modelagem de sistemas físicos (GILBERT, 2004; BUFFLER et al., 2008; LÓPEZ-RÍOS, VEIT & ARAUJO, 2011), surgindo no ensino de Ciências como uma ferramenta de modelagem com duas funções distintas (HESTENES, 2006): para a construção e análise de modelos, e para a validação dos modelos. Na primeira modalidade, permite o uso de representações que seriam improváveis sem eles, como, por exemplo, a possibilidade de se alterar o ângulo de visão de simulações em três dimensões. Já na segunda, facilita comparar as previsões dos modelos teóricos com dados empíricos. É importante destacar que a literatura tem evidenciado que os resultados de uma atividade com enfoque no processo de modelagem científica são criticamente dependentes da ferramenta de modelagem utilizada (LOUCA & ZACHARIA, 2012).

Cabe ressaltar que, ainda que a modelagem científica possa ser mais facilmente enfatizada com o uso de computadores, tal processo não é completo quando apenas tal recurso é utilizado para se avaliar o comportamento dos eventos físicos. A modelagem deve se valer de experimentos para que dados coletados empiricamente possam ser confrontados com resultados teóricos provenientes dos modelos científicos. Desse modo, é importante que as atividades de modelagem também se amparem em experimentos não-virtuais de modo a evidenciar aos estudantes a intenção dos modelos em representar eventos físicos. Além disso, é fundamental que os estudantes tenham ciência de que grande parte da atividade experimental é voltada para o ajuste das condições de experimentação. Para isso, efeitos indesejados são atenuados de modo que as simplificações consideradas nos modelos científicos sejam plausíveis frente aos experimentos que eles buscam descrever. Em outras palavras, os experimentos científicos envolvem o isolamento dos eventos, processo esse norteado pelas idealizações e aproximações¹¹ consideradas na construção dos modelos científicos (KOPONEN, 2007). Os resultados apontados na literatura evidenciam que estudantes de Ciências apresentam concepções sobre a natureza dos modelos e da modelagem superficiais ou inadequadas (BRANDÃO et al., 2011). Raviolo et al. (2010), sintetizando os resultados de diversas pesquisas, destacam que os alunos frequentemente: i) concebem os modelos como: (a)

¹¹ O artigo de Portides (2007) é dedicado a diferenciar os conceitos de *idealização* e de *aproximação*. O primeiro deles se refere ou a distorções de características do sistema modelado em sua descrição teórica (e.g., assumir um projétil como um corpo pontual na estimativa da sua trajetória) ou a descon siderações de propriedades relevantes desse sistema (e.g., ignorar os efeitos do atrito na descrição do movimento de um corpo em um plano inclinado). Uma *aproximação*, segundo o autor, envolve ou a simplificação de alguma propriedade relevante do sistema modelado (e.g., assumir, no movimento de um pêndulo, a força resistiva do ar como linearmente dependente da sua velocidade) ou a simplificação de uma descrição teórica realizada com o objetivo de torná-la mais facilmente tratável (e.g., assumir $\sin \theta \approx \theta$).

cópias da realidade, (b) algo real, mas em outra escala, (c) um exemplo ou caso exemplar, (d) algo exato que não contém “erros”, (e) um acúmulo de fatos a serem memorizados, (f) uma entidade visual (desenho, diagrama); ii) afirmam que um modelo é melhor quanto mais se assemelha ao que representa; iii) desconhecem que distintos modelos podem referir-se a um mesmo fenômeno, enfatizando diferentes aspectos do mesmo; iv) sustentam que o desenvolvimento de modelos é um processo linear e racional; e v) têm dificuldades em identificar os modelos que foram ensinados.

As concepções dos estudantes citadas acima podem ser parcialmente compreendidas quando analisamos as concepções epistemológicas dos professores de Ciências que, usualmente, são confusas e pouco alinhadas com as ideias contemporâneas (ISLAS & PESA, 2003; GILBERT, 2004; HENZE, VAN DRIEL & VERLOOP, 2007; BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2010; COLL & LAJIUM, 2011; FAZIO, DI PAOLA & GUASTELLA, 2012). Islas & Pesa (2003), por exemplo, concluem que os professores de Física de Ensino Médio participantes da investigação conduzida pelas autoras têm dificuldade para: i) reconhecerem a potencialidade dos modelos para descreverem, predizerem e explicarem o mundo físico; ii) perceberem a relevância de modelagem em toda a construção do conhecimento científico; iii) reconhecerem o emprego de modelos na reconstrução do conhecimento científico em sala de aula; e iv) estabelecerem critérios qualitativos e quantitativos que vinculem os fenômenos físicos com os modelos (e com a sua expressão em linguagem matemática). Talvez seja em função dessas dificuldades que atividades focadas no processo de modelagem científica são usualmente negligenciadas no ensino de Ciências (LOPES & COSTA, 2007; DANUSSO, TESLA, VICENTINI, 2010; NELSON & DAVIS, 2012). Esse panorama motivou Oh & Oh (2011) a apresentarem uma síntese, que é exposta no Quadro 2.2, dos principais aspectos do processo de modelagem que devem ser de conhecimento dos professores de Ciências. Henze, Van Driel & Verloop (2007), constatando que os participantes de sua investigação apresentavam dificuldades para delinear atividades que envolvessem simultaneamente o processo de modelagem de eventos reais e debates sobre a natureza dos modelos científicos, sugerem que os professores sejam defrontados com situações-problemas que envolvam a construção e o teste de modelos computacionais, e a comparação desses modelos com resultados de investigações empíricas.

Em síntese, o que podemos concluir dessa revisão é que o enfoque no processo de modelagem científica no ensino de Ciências apresenta potencialidades tanto para promover o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, como relações sociais colaborativas e habilidades relacionadas com questões procedimentais da resolução de autênticos problemas científicos. Ainda assim, ficou evidente que, apesar do crescimento no número de artigos que abordam avaliações de estratégias didáticas centradas no processo de modelagem, poucos deles apresentam amparos teóricos profundos e consistentes. Na próxima seção, passamos a debater sobre o desenvolvimento de atividades experimentais no ensino de Física.

Quadro 2.2 - Principais aspectos do processo de modelagem científica a serem ressaltados por professores em aulas de Ciências (OH & OH, 2011, p. 1124).

Tópico	Aspectos Fundamentais
Significado de modelo	Um modelo é uma representação de algo. Um modelo serve como uma “ponte” ou mediador conectando uma teoria e um evento.
Propósito da modelagem	Um modelo desempenha os papéis de descrever, explicar e prever eventos naturais e possibilita o compartilhamento de ideias científicas. A funcionalidade dos modelos é expandida pela possibilidade de eles serem expressos com recursos não-linguísticos semióticos, amparando-se em analogia que facilitam simulações externas e mentais.
Multiplicidade de modelos científicos	Vários modelos podem ser desenvolvidos para estudar o mesmo evento, pois os cientistas podem ter ideias diferentes sobre o funcionamento desse evento porque há uma variedade de recursos semióticos disponíveis para a construção de modelos. Cada modelo tem limitações, pois representa apenas alguns aspectos específicos de um evento, e diversos modelos podem ser necessários para fornecer uma explicação satisfatória do evento estudado.
Mudança de modelos científicos	Os modelos são testados empiricamente e conceitualmente, e eles podem mudar paralelamente ao desenvolvimento do conhecimento científico.
Usos de modelos nas aulas de ciências	Nas aulas de Ciências, o professor deve utilizar modelos para analisar o comportamento de eventos físicos e para explicar o conhecimento científico. Os alunos devem ter a oportunidade de participar de atividades que envolvam a exploração, a expressão, a construção, a aplicação e a revisão de modelos.

2.3 Sobre atividades experimentais no ensino de Física

A busca por experimentos que corroboram seus modelos teóricos sempre foi uma atividade que permeou o desenvolvimento da Física. Possivelmente em função disso as Atividades Práticas de Laboratório (APL) têm sido continuamente tratadas pelos pesquisadores como algo intrínseco ao ensino de Física (TRUMPER, 2003). Como consequência, desde as primeiras investigações produzidas na área, pesquisas sobre os efeitos de APL na aprendizagem dos alunos assumiram posição de destaque. É nesse contexto que, em meados da década de 50 do século passado, foi realizado um dos mais importantes projetos com o intuito de promover um ensino de Física em que o aluno aprendesse de forma ativa por meio de experiências: o *Physical Science Study Committee* ou simplesmente PSSC, como ficou conhecido (HABER-SCHAIM et al., 1971).

Embora tenha causado um grande impacto no ensino de Física e produzido materiais de notável qualidade, o PSSC foi alvo de muitas críticas, principalmente direcionadas à ideia implicitamente presente nos seus livros de que a experimentação levaria os alunos à redescoberta de leis científicas. Essa visão, que ainda hoje encontra adeptos, mostrou ser um grave equívoco epistemológico (GASPAR, 2004).

Os questionamentos enfrentados pelo PSSC evidenciaram a necessidade de que mais estudos envolvendo o uso de APL fossem realizados e hoje o PSSC é visto por diversos pesquisadores como um marco inicial da pesquisa em ensino de Física como conhecemos hoje, ou seja, fundamentada teórico-epistemologicamente (e.g. GASPAR, 2004). Desde então, frente a tal

contexto, muitos trabalhos foram produzidos com o intuito de avaliar o potencial das APL e grande parte deles tem concluído que existem vantagens no seu uso (e. g., HODSON, 1994; BORGES, 2002; HOFSTEIN & LUNETTA, 2004).

Em cursos de formação de professores é usual a existência de disciplinas de instrumentação para laboratório que visam preparar o professor para conduzir APL em sala de aula, pois muitas são as potencialidades que lhes são atribuídas. Porém, a maior parte dessas potencialidades não é verificada nas APL usualmente desenvolvidas nas aulas de Física (BORGES, 2002; HODSON, 1994; TRUMPER, 2003). Abrahams & Millar (2008), em um estudo onde buscam avaliar as APL efetivamente realizadas em aulas de Ciências, observam que a maior parte do tempo investido nessas atividades se destina à apresentação e manipulação de materiais experimentais, tornando rápidas e superficiais as discussões sobre os modelos utilizados nas interpretações dos dados coletados. Os autores também concluem que os professores esperam que seus alunos desenvolvam conhecimentos teóricos relacionados ao trabalho experimental apesar de despenderem pouco tempo para a condução de debates sobre tais aspectos. Andrés, Pesa e Moreira (2006) destacam que, na prática, há nas APL uma forte ênfase na aprendizagem de destrezas e de técnicas de coleta e tratamento de dados experimentais, com pouca ou nenhuma relação explícita com referências teóricas ou modelos, bem como há falta de clareza em relação aos objetivos de aprendizagem a serem alcançados com as APL.

As concepções de professores sobre o uso de atividades experimentais também é um tema investigado na área de ensino de Física. Pena e Ribeiro-Filho (2009), por exemplo, em uma revisão da literatura, identificam três principais dificuldades relatadas por professores e/ou pesquisadores para o uso da experimentação no ensino de Física: i) falta ou carência de pesquisas sobre o que os alunos realmente aprendem por meio de experimentos; ii) despreparo do professor para trabalhar com atividades experimentais; e iii) falta de condições de trabalho como, por exemplo, dificuldades devido ao grande número de alunos por turma. Já Chagas e Martins (2009), investigando as concepções de seis professores de Física do Ensino Médio, identificam quatro fatores que, segundo os entrevistados, condicionam a condução de atividades experimentais em suas aulas. São eles: i) a carência de material; ii) salas lotadas; iii) falta de manutenção dos equipamentos; e iv) carga horária reduzida. No entanto, indo de encontro com as concepções de professores usualmente identificadas em pesquisas, Laburú, Barros e Kanbach (2007) realizam uma profunda análise das manifestações de três professores de Ensino Médio em entrevistas e sugerem que a ausência de atividades experimentais nas escolas decorre de uma relação dos professores com o saber profissional de simples emprego, e não de vocação.

Antúnez, Pérez e Petrucci (2008) analisam as concepções de professores de cursos superiores sobre atividades experimentais, concluindo que os participantes da investigação estão conscientes de que as atividades de laboratório são muito complexas para os estudantes em função da quantidade, da diversidade e da complexidade das tarefas que eles precisam realizar, e porque são estabelecidos simultaneamente objetivos muito diferentes entre si. Por outro lado, os autores concluem também que os docentes não propõem nem desenvolvem estratégias explícitas para aulas

de laboratório, pois parecem confiar que a participação dos estudantes nas práticas promovem a “intuição física”, ou seja, a imersão na cultura particular do trabalho de laboratório seria suficiente para produzir aprendizagens.

Uma das maiores críticas destacadas na literatura às APL tradicionalmente desenvolvidas nas aulas de Ciências se refere ao uso de roteiros comumente denominados como “receitas de bolo” que reduzem as atividades dos alunos à execução acrítica de uma série de passos rígidos com o intuito de provar uma lei física (HODSON, 1994; HOFSTEIN & LUNETTA, 2004; TRUMPER, 2003). Como consequência, muitos estudantes cumprem as atividades sem compreenderem claramente a proposta da investigação que realizam, entendendo elas como eventos isolados que têm o objetivo de chegar à “resposta certa”, o que os leva a perceberem tais atividades como desinteressantes e pouco importantes para as suas aprendizagens (BORGES, 2002; HOFSTEIN & LUNETTA, 2004; DEACON & HAJEK, 2011). Gil Pérez et al. (1999) ressaltam que os roteiros do tipo “receita de bolo” promovem uma visão reducionista da atividade científica. Para contornar tal problema, Hodson (1994) sugere a execução de um planejamento baseado em um modelo científico válido filosoficamente, ou seja, que não seja baseado na concepção de que o fazer científico é uma atividade desenvolvida por meio de um método científico rígido e infalível. Andrés, Pesa e Moreira (2006) sugerem que, para isso, sejam estabelecidos para as APL objetivos de aprendizagem sobre a natureza da Ciência, suas metodologias e sobre os mecanismos sociais e institucionais que operam nela, tais como: i) reconhecer que os modelos são baseados em abstrações (e.g., massa pontual, meio sem atrito, e outros), e que eles são construídos dentro de referenciais teóricos que representam eventos do mundo real; ii) reconhecer as estratégias de investigação de um campo disciplinar e estabelecer procedimentos para implementá-las em situações particulares; iii) perceber o que são explicações e argumentações adequadas; iv) analisar as informações e dados que são produzidos na investigação, bem como as técnicas mais adequadas para uma coleta e uma reanálise, v) identificar os elementos que podem fazer uma asserção de conhecimento ser considerada confiável; e vi) valorizar a comparação de resultados entre pares ou com outros grupos de trabalho.

Por outro lado, existem pesquisadores que ressaltam os problemas que podem surgir em APL conduzidas com guias de atividades pouco dirigidos. Deacon e Hajek (2011), por exemplo, evidenciam que roteiros de atividades pouco dirigidos podem favorecer atitudes negativas em relação às APL, o que pode estar relacionado com a frequente relutância dos estudantes em assumirem a responsabilidade por suas próprias aprendizagens. Andrés, Pesa e Moreira (2006) ressaltam que corre-se o risco de que os alunos fracassem no confronto com problemas abertos devido à falta de conhecimentos e de experiência com esse tipo de problema, o que pode tornar o trabalho sem sentido e mecânico para eles. Os estudantes investigados por Werlang et al. (2012), por exemplo, que participavam de uma disciplina experimental de Física de um curso de graduação em Geofísica, apresentaram dificuldades para levantar hipóteses frente à problematização proposta pelos pesquisadores em função de os guias utilizados serem pouco dirigidos. No entanto, os autores concluem que a liberdade para planejar e executar a atividade gera a possibilidade de exploração mais intensa dos fenômenos físicos propostos, desenvolvendo atitude de responsabilidade na

investigação. Guillon e Séré (2002) argumentam ainda que a habilidade de avaliar ordens de magnitude e incertezas antes do delineamento de um experimento só é desenvolvida pelos estudantes em atividades abertas. Essa habilidade é entendida como de grande importância para os alunos, pois os tornam mais autônomos em suas investigações experimentais.

Barolli e Franzoni (2008), analisando as ações de uma professora que conduzia aulas experimentais, concluem que a falta de clareza sobre as tarefas que deveriam realizar pode criar para os alunos uma conjuntura de desilusão, colocando-os em uma situação de inércia passiva. Buscando contornar tais problemas, autores têm defendido que o nível de abertura das APL deve ser coerente com o perfil dos estudantes que realizarão as atividades (e. g., BORGES, 2002). Tamir (1991 *apud* BORGES, 2002), por exemplo, propõe quatro níveis de atividades investigativas. Em atividades do nível 0, os problemas, os procedimentos e as conclusões que devem ser obtidas são definidas pelo professor, restando ao estudante apenas a execução de passos pré-estabelecidos. Nas de nível 1, apenas os problemas e os procedimentos são fornecidos pelo docente, ficando a cargo dos estudantes construir suas conclusões. Nas de nível 2, os estudantes devem enfrentar um problema propondo procedimentos que os possibilitem chegar a conclusões. Por fim, as de nível 3 são completamente abertas, sendo os problemas, os procedimentos e as conclusões estabelecidos pelos estudantes. De modo semelhante, Pella (1969 *apud* CARVALHO, 2010) distribui as práticas experimentais em cinco níveis, adicionando, em relação à proposta de Tamir, o levantamento de hipóteses como uma tarefa dos estudantes nos níveis mais complexos de APL. Borges (2002) sugere que, inicialmente, já no Ensino Fundamental, as atividades devam ser simples e feitas em pequenos grupos e que, com o passar do tempo, as APL progridam para níveis mais abertos, aumentando a complexidade do trabalho dos estudantes gradativamente.

Uma crítica às APL, apresentada por Hodson (1994), faz referência a um aspecto muito ressaltado por professores, que argumentam que a realização de experimentos pode facilitar a aprendizagem e compreensão de conceitos (HEIDEMANN, 2011). O autor apresenta uma série de trabalhos que relatam não terem obtido melhores resultados com tal recurso, e aponta como um dos motivos para tal fracasso a falta do que ele chama de “desafio cognitivo”. Borges (2002) destaca ainda que, ao desenvolver APL, o professor deve ter em mente que aquilo que qualquer pessoa observa depende fortemente de seu conhecimento prévio e de suas expectativas. Indo ao encontro dessa concepção, Coelho, Nunes e Wiehe (2008) defendem uma perspectiva construtivista para as atividades experimentais, e concluem em sua pesquisa que professores em formação, após terem contato com essa perspectiva, desenvolvem uma concepção mais crítica sobre atividades de laboratório. Valorizando o papel do conhecimento prévio nas atividades, Borges (2002) recomenda então que as aulas experimentais concentrem-se apenas nos aspectos desejados, com um planejamento cuidadoso que considere as ideias prévias dos estudantes a respeito da situação estudada, o tempo necessário para completar a atividade, as habilidades requeridas e aspectos ligados à segurança.

Jaime e Escudero (2011), apoiando-se na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, concluem que uma boa oportunidade para a aprendizagem conceitual ocorre com a realização de

trabalhos práticos de Física que partam de uma situação problemática, em princípio aberta (ou parcialmente aberta), que envolvam o desenvolvimento de uma tarefa experimental e que avancem para uma modelagem realizada individualmente ou em grupo, com tempo suficiente para interagir com materiais, professores e colegas. Os autores argumentam ainda que, quando se busca a conceitualização e a modelagem, o trabalho experimental se converte em fonte de conhecimento frente a situações novas ou relativamente novas. Com isso, os autores defendem que a experimentação pode ser concebida como uma forma de favorecer o estabelecimento de relações entre três conjuntos: o das situações experimentais, o dos invariantes operatórios, e o das representações externas usadas na Física (distintas linguagens e simbolismos).

Andrés, Pesa e Meneses (2008) também se amparam na Teoria dos Campos Conceituais em sua investigação, e enfatizam que gerar previsões à luz de um marco teórico de referência, formular hipóteses, delinear sequências experimentais, elaborar sínteses e conclusões são processos complexos do domínio metodológico que demandam conceitos e regras de ação próprios. Esses conhecimentos devem ser apreendidos e, por isso, devem ser declarados como metas de aprendizagem durante as aulas de laboratório. Destacam, ainda, que julgam pertinente o estabelecimento e a avaliação de um campo conceitual próprio das atividades experimentais, identificando os conceitos próprios de cada uma das tarefas típicas desse campo e as classes de situações nas quais é possível colocar em ação diversos traços dos significados desses conceitos.

Muito destacada pelos professores é a crença de que as APL oportunizam a conexão entre conceitos científicos discutidos em sala de aula e em livros-texto com observações de um fenômeno físico (HODSON, 1994; HOFSTEIN & LUNETTA, 2004; HEIDEMANN, 2011). Saraiva-Neves, Caballero e Moreira (2006), em um estudo exploratório sobre o papel do trabalho experimental junto a professores do ensino secundário de Lisboa, observaram que a maioria dos docentes menciona de alguma forma a necessidade da interligação entre teoria e prática. Montino et al. (2011) destacam que, nas atividades experimentais conduzidas em sua pesquisa, os estudantes, em geral, recorrem inicialmente a suas ideias prévias para finalmente conectar a tarefa com a teoria, estabelecendo relações que favorecem a aprendizagem da disciplina. Procurando argumentar em favor de aulas experimentais que permitam que os estudantes explorem os diferentes aspectos da relação entre Física e realidade, Nedelsky (*apud* BAROLLI, LABURÚ & GURIDI, 2010) compreende o laboratório como um processo de investigação em que deveriam estar contemplados basicamente três aspectos: i) o delineamento de experimentos, ii) a previsão de resultados, e iii) a confrontação entre os resultados obtidos e os esperados.

Cudmani e Sandoval (*apud* MARINELI & PACCA, 2006) afirmam que a conexão entre teoria e prática deve acontecer através da análise dos erros experimentais que permite, inclusive, quantificar a adequação entre conteúdos teóricos e aquilo que é real. No entanto, as APL que tradicionalmente vêm sendo desenvolvidas em aulas de Ciências não têm promovido satisfatoriamente as habilidades dos estudantes para avaliarem as diferenças entre as previsões dos modelos teóricos e os resultados experimentais. Volkwyn et al. (2008), por exemplo, concluem que aproximadamente 80% dos 53 estudantes investigados que eram participantes de disciplinas experimentais de cursos de graduação

em Física não desenvolveram conhecimentos suficientes sobre incertezas experimentais ao ponto de torná-los capazes de compararem dados experimentais com previsões de modelos teóricos.

As relações entre as concepções epistemológicas de estudantes e suas ações em aulas de laboratório também são analisadas na literatura. Buffler, Lubben e Ibrahim (2009), em uma investigação envolvendo estudantes do início do curso de graduação em Física, investigam como a concepção de medida experimental dos participantes da pesquisa realizada se relaciona com as suas concepções sobre a natureza da Ciência. Os autores concluem que estudantes que entendem que as leis e teorias são padrões próprios da natureza descobertos pelos cientistas tendem a compartilhar da crença de que as medidas científicas são caracterizadas por um valor “verdadeiro”. Esses estudantes entendem que o objetivo de medições científicas é de descobrir a verdade sobre a natureza. “Erros” de medida decorrem de deslizos processuais, e as incertezas associadas a uma medida podem ser em princípio reduzidas a zero. Por outro lado, Buffler, Lubben e Ibrahim (2009) concluem também que estudantes que compreendem que as teorias científicas são invenções criadas pelos cientistas e que são validadas por meio da experimentação tendem a compartilhar da crença de que as medidas científicas são caracterizadas por uma incerteza, e, em função disso, dados experimentais precisam sempre passar por uma análise estatística. Com base em seus resultados, os autores argumentam que as aulas de laboratório podem esclarecer aos alunos as relações entre teorias e dados experimentais, e que para promover uma compreensão apropriada dos estudantes sobre a natureza das evidências científicas é importante que eles compreendam a natureza das medidas científicas.

Guillon e Séré (2002) expõem resultados de uma intervenção desenvolvida no decorrer de dois anos com um grupo de estudantes de graduação em Física. Nela, os pesquisadores começam debatendo com os alunos aspectos epistemológicos relacionados com o trabalho experimental, destacando o papel do processo de modelagem dos eventos explorados. Em seguida, passam a promover atividades experimentais guiadas para, gradativamente, defrontar os estudantes com problemas experimentais abertos. Os resultados do estudo mostram que os estudantes têm grandes dificuldades de narrar o que fazem nas investigações experimentais relacionando-os com os debates sobre modelagem realizados pelos pesquisadores. Em uma atividade realizada no final do segundo ano da investigação, por exemplo, os termos “modelo” ou “modelagem” foram usados em apenas seis dos 30 relatórios experimentais produzidos pelos participantes. Além disso, os estudantes apresentaram dificuldades também para expor adequadamente o modelo teórico explorado nas suas investigações. Guillon e Séré (idem) interpretam esses resultados como uma herança dos diversos anos em que os estudantes assistiram aulas em que é compartilhada a concepção de que existe apenas uma abordagem experimental válida, e de que a Física sempre entrega a verdade, que é supostamente única.

A aquisição de habilidades práticas e técnicas de laboratório por parte dos alunos é mais um dos aspectos discutidos quando se propõe uma reflexão sobre as APL (HOFSTEIN & LUNETTA, 2004). Talvez esse seja o motivo pelo qual professores da Educação Básica valorizem fortemente a manipulação de materiais durante as APL (PACCA & SCARINCI, 2011; HEIDEMANN, 2011). No entanto, Hodson (1994) destaca um ponto polêmico afirmando que não vê, por exemplo, como o fato

de usar uma pipeta corretamente possa ser transferido para outra situação de laboratório. Para ele, o trabalho prático não é necessário no sentido de desenvolver certas habilidades de laboratório nos estudantes, mas certas habilidades são indispensáveis quando se pretende engajar os estudantes em atividades práticas. Nessa mesma direção, Borges (2002) ressalta o que ele chama de técnicas de investigação, que são ferramentas importantes e úteis para qualquer cidadão e relacionam-se com a obtenção do conhecimento e sua comunicação. Alguns exemplos deste tipo de técnica são repetir procedimentos para aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos e aprender a colocar e a obter informação de diferentes formas de representação – como diagramas, esquemas, gráficos, tabelas, etc.

O potencial das APL para promover relações sociais colaborativas também é um aspecto ressaltado na literatura (e. g., GASPAR, 2004). Isso decorre do ambiente mais informal que oportuniza mais interação entre alunos e seus professores, o que pode gerar um ambiente saudável propício à aprendizagem significativa. Brown et al. (*apud* BAROLLI, LABURÚ & GURIDI, 2010) argumentam que as atividades de laboratório acabam potencializando a sinergia dos “*insights*” e das soluções que não seriam possíveis durante a aprendizagem individual. Essa sinergia promovida pelas atividades experimentais acaba possibilitando que os estudantes desenvolvam suas capacidades de argumentação. Lubben et al. (2010), por exemplo, afirmam que a capacidade dos estudantes de argumentarem depende do entendimento deles sobre o conceito de evidência, cuja compreensão pode ser desenvolvida em APL. Hofstein e Lunetta (2004) afirmam que o engajamento na construção da argumentação científica auxilia os alunos a compreenderem conceitos científicos e a forma como os cientistas desenvolvem o conhecimento do mundo natural.

Pesquisadores e professores têm destacado que a condução de APL possibilita o desenvolvimento de atitudes positivas em relação ao trabalho experimental por parte dos alunos, aumentando o interesse deles pela Ciência (e. g., HOFSTEIN & LUNETTA, 2004; ABRAHAMS & SAGLAM, 2010; BAROLLI, LABURÚ & GURIDI, 2010; MONTINO et al., 2011). Deacon e Hajek (2011), em um levantamento realizado com 168 estudantes de uma disciplina experimental de Física, concluem que o bom dimensionamento do tempo necessário para o desenvolvimento das atividades, o auxílio oferecido pelos professores ou tutores durante as aulas, e o conhecimento prévio dos estudantes sobre os conteúdos científicos relacionados com o experimento realizado são os principais fatores que influenciam na atitude dos alunos em relação às APL.

Dentre as críticas impostas à abordagem tradicional das APL, a mais ressaltada é que consomem muito ou todo o tempo disponível (BORGES, 2002) com operações de montagem dos equipamentos, atividades de coleta de dados e cálculos para obter respostas esperadas, e pouco com a reflexão sobre os significados e implicações dos resultados encontrados. No estudo exploratório de Saraiva-Neves, Caballero e Moreira (2006), diversos docentes relatam que é necessário que os alunos disponham de mais tempo para discutir os resultados. Gunstone e Champagne (*apud* HOFSTEIN & LUNETTA, 2004) afirmam que a aprendizagem significativa no laboratório só pode ser concretizada se os estudantes empregarem tempo suficiente para a interação com o material e para a reflexão sobre os resultados. Hodson (1994), por outro lado, aponta o

computador como alternativa para experimentos que são demasiadamente difíceis, caros, que consomem muito tempo ou são muito perigosos para serem realizados de outra maneira. Ainda que concordemos que as atividades que envolvem os estudantes com o planejamento, a execução e a análise de experimentos sejam consideravelmente longas, julgamos também que essas atividades são essenciais para que os estudantes desenvolvam competências específicas do fazer experimental, assim como entendemos que atividades computacionais não possibilitam o desenvolvimento dessas competências.

Uma síntese das potencialidades e dos desafios do uso de APL no ensino de Ciências apontadas por Gil Pérez et al. (1999), Hodson (1994), Borges (2002), Carvalho (2002), Trumper (2003), Hofstein e Lunetta (2004), Andrés, Pesa e Moreira (2006), Martineli e Pacca (2006), Lubben et al. (2010), Barolli, Laburú e Guridi (2010), e Deacon e Hajek (2011) pode ser vista no Quadro 2.3.

Com a popularização dos computadores e o conseqüente desenvolvimento de estudos que avaliam as potencialidades das Atividades baseadas em Simulações Computacionais (ASC) no ensino de Ciências (e. g., MEDEIROS & MEDEIROS, 2002; ESQUEMBRE, 2002) uma série de investigadores se voltou a comparar os resultados obtidos em APL com os alcançados em ASC. Grande parte deles tem concluído que a aprendizagem conceitual de alunos que trabalham com ASC é igual ou melhor do que a dos que realizam APL (e.g. ZACHARIAS & ANDERSON, 2003; FINKELSTEIN et al., 2005; CHINI et al., 2012). Tais resultados, avaliados majoritariamente por meio de testes objetivos, podem naturalmente sugerir que as ASC têm potencial para substituir as APL, sem prejuízos aos estudantes. No entanto, até mesmo alguns dos próprios autores dessas investigações preferem não ser taxativos em relação a tal tese. Finkelstein et al. (2005), por exemplo, dizem que, com suas conclusões, não têm a intenção de defender que as APL devam ser substituídas por ASC, mas sim de destacar que a experiência prática não é necessariamente mais eficaz para promover a aprendizagem de conceitos e o desenvolvimento de habilidades para a confecção de circuitos elétricos em alunos de Física. Defendendo que ASC são insuficientes para o ensino de Ciências, Olympiou e Zacharia (2011) destacam que incertezas experimentais estão naturalmente presentes em APL, enquanto que, em ASC, tal aspecto é usualmente ignorado. Além disso, ASC dificilmente favorecerão o desenvolvimento de habilidades psicomotoras e a conscientização sobre procedimentos de segurança de laboratório.

Zacharias e Constantinou (2008) apresentam uma reflexão sobre seus resultados que evidenciaram performances iguais entre alunos que aprendem sobre calor com ASC e com APL. Eles defendem uma reestruturação das atividades experimentais nas aulas de Física para incluir manipulações físicas e virtuais. Com isso, ressaltam os pesquisadores, surge a necessidade de se compreender como ambos os modos de experimentação podem ser integrados em sequências de atividades para o ensino-aprendizagem de Física. Nessa perspectiva, diversas pesquisas foram conduzidas com o intuito de avaliar integrações entre APL e ASC no ensino de Física (e.g. RONEN & ELIAHU, 2000; ZACHARIA, OLYMPIOU & PAPAERVIPIDOU, 2008; ZACHARIA & CONSTANTINOU, 2008; OLYMPIOU & ZACHARIA, 2011; DORNELES, ARAUJO & VEIT, 2012). Os resultados obtidos por tais pesquisas são consensuais em um ponto: a combinação desses recursos didáticos pode ser

mais eficaz no ensino de Física do que o uso de apenas um deles individualmente. As vantagens apontadas por tais estudos ao uso de ASC e APL combinadas podem ser agrupadas em quatro categorias:

- podem explorar as potencialidades de ambos os métodos de experimentação (empírica e computacional);
- evidenciam as diferenças substanciais entre as teorias e o mundo empírico;
- promovem a compreensão conceitual melhor do que os dois recursos isoladamente;
- influenciam a atitude dos alunos, motivando-os e promovendo seu engajamento nas atividades propostas.

Quadro 2.3 – Síntese das potencialidades e dos desafios do uso de atividades práticas de laboratório.

Potencialidades	Desafios
Oportunizam uma conexão entre conceitos científicos discutidos em sala de aula e em livros-texto com observações de um fenômeno ou sistema.	Consumem muito tempo, fazendo com que os alunos disponham de pouco tempo para a reflexão sobre os resultados obtidos.
Podem facilitar a aprendizagem e compreensão de conceitos.	Muitos professores continuam oferecendo “receitas de bolo” que os alunos devem seguir rigidamente.
Possibilitam a superação de concepções empiristas-indutivistas ingênuas.	Os alunos percebem as APL como eventos isolados que têm o objetivo de chegar à “resposta certa”.
Promovem a aquisição de habilidades práticas e técnicas de laboratório.	Roteiros excessivamente “abertos” podem promover uma sobrecarga cognitiva nos alunos prejudicando o aprendizado dos iniciantes.
Incentivam a argumentação lógica baseada em evidências.	
Influenciam a atitude do aluno, aumentando seu interesse pela Ciência.	
Têm a capacidade de promover relações sociais colaborativas.	

Cabe ressaltar que são muitas as possibilidades de integração entre APL e ASC. Alguns autores concretizam a combinação propondo atividades em que fazem uso concomitante das duas possibilidades; outros promovem atividades em que o aluno usa uma delas antes da outra. No entanto, independentemente da maneira como tais recursos são integrados, as investigações têm igualmente chegado à conclusão de que combinações são mais eficazes do que usos isolados dessas ferramentas (OLYMPIOU & ZACHARIA, 2011), o que tem se repetido independentemente do conteúdo abordado nas investigações (ZACHARIA, OLYMPIOU & PAPAVERIPIDOU, 2008).

Um dos aspectos mais interessantes envolvendo o uso de integrações de ASC e APL está relacionado ao fato de que elas podem evidenciar as diferenças entre as teorias físicas e o mundo empírico (RONEN & ELIAHU, 2000; DORNELES, ARAUJO & VEIT, 2012). Tal potencialidade dessas combinações pode favorecer, portanto, o desenvolvimento de concepções de Ciência mais

adequadas por parte dos alunos, tornando-as mais alinhadas com as concepções epistemológicas contemporâneas.

Em síntese, a revisão da literatura nos permite detectar diversas potencialidades no desenvolvimento de APL no ensino de Ciências. No entanto, pode-se identificar uma série de cuidados que devem ser tomados para que tais atividades efetivamente possibilitem aos estudantes o desenvolvimento de competências. Tanto as potencialidades das APL como os cuidados que precisam ser tomados no desenvolvimento delas dirigiram o delineamento das atividades que foram realizadas pelos estudantes nos estudos desta tese. Na próxima seção, detalhamos como esta revisão da literatura influenciou as atividades de ensino e de investigação desenvolvidas nos estudos desta tese, assim como destacamos os aspectos nos quais avançamos em relação ao que é exposto nos artigos analisados.

2.4 Implicações para os estudos realizados

A compreensão de que os modelos científicos mediam as relações entre teorias e realidade, que é defendida por Gilbert (2004), Koponen (2007) e Oh e Oh (2011), amparou o delineamento de todas as atividades experimentais conduzidas nos estudos desta tese. Amparados na concepção de Ciência de Bunge, que é debatida em detalhes no próximo capítulo, assumimos que a coerência de uma teoria só é evidente por meio de seus modelos e de que, conseqüentemente, a compreensão da modelagem científica possibilita que os estudantes atribuam sentido aos conteúdos científicos estudados em sala de aula. Baseados nisso, procuramos promover atividades em que teoria e prática fossem abordadas de forma associada, possibilitando que os estudantes assimilassem que teorias são usadas na construção de representações simplificadas da realidade, e que os modelos científicos não são cópias especulares dos eventos que representam. Julgávamos que, em decorrências de os estudantes desenvolverem uma compressão mais nítida das relações existentes entre teorias e realidade, poderíamos obter resultados semelhantes aos de Brewster, Kramer e O'Brien (2009), que identificaram atitudes mais positivas dos alunos em relação à Ciência quando eles realizam atividades de modelagem em suas aulas de Física.

Cientes das críticas que pesquisadores como Hodson (1994), Hofstein e Lunetta (2004) e Trumper (2003) dirigem às atividades experimentais conduzidas com roteiros do tipo "receita de bolo", em que os estudantes realizam as tarefas de forma mecânica e acrítica, optamos por desenvolver nos estudos desta tese atividades de caráter aberto, dando liberdade para que os estudantes tomassem decisões sobre suas investigações, envolvendo-se no delineamento, na execução e na análise dos seus experimentos. Para isso, seguindo as recomendações de Borges (2002), Jaime e Escudero (2011) e Deacon e Hajek (2011), optamos por destinar intervalos de tempo longos para o desenvolvimento das atividades que, em alguns casos, demandaram mais de cinco horas de aula. Desse modo, desejávamos dispor aos estudantes tempo suficiente para refletirem sobre os seus objetivos, sobre o delineamento das investigações, assim como sobre a análise dos dados coletados experimentalmente.

Indo ao encontro das pesquisas que ressaltam que as atividades experimentais e as atividades com enfoque no processo de modelagem científica têm potencial para promover relações sociais colaborativas, foram promovidos em todos os estudos desta tese debates em grande grupo em que os estudantes apresentavam os resultados de suas investigações. Julgávamos que, com esses debates, corroboraríamos as ideias de Hofstein e Lunetta (2004) e de Passmore e Svoboda (2012), que defendem que o engajamento dos estudantes em discursos argumentativos possibilita que os estudantes desenvolvam uma compreensão mais profunda dos conteúdos estudados.

A contextualização dos conteúdos científicos tratados nas atividades foi uma preocupação constante durante os estudos. Conhecendo o trabalho de Pietrocola (1999) e de Ricardo (2010), tínhamos clareza de que a apresentação dos modelos como mediadores entre teorias e realidade não é suficiente para contextualizar os conteúdos científicos. Por isso, buscamos promover em todas as atividades uma conjuntura que desse sentido para a construção dos modelos utilizados pelos estudantes. Nesse processo, procuramos evocar eventos cotidianos em que os conteúdos científicos pudessem se fazer presentes, distanciando-se, em um primeiro momento, dos eventos produzidos em laboratório. Por exemplo, nos estudos 2 e 3, antes de abordarmos o modelo de sistema massa-mola, debatemos o sistema de amortecimento automotivo, destacando as relações existentes entre o evento produzido em laboratório com um evento cotidiano.

Amparados nas ideias de Nedelsky (*apud* BAROLLI, LABURÚ & GURIDI, 2010) e de Cudmani e Sandoval (*apud* MARINELI & PACCA, 2006), procuramos enfatizar nas atividades experimentais realizadas o caráter representacional dos modelos científicos por meio da contrastação entre predições teóricas e dados coletados experimentalmente. Para isso, adotamos as ideias: i) de Gilbert (2004) e de Hestenes (2006), assumindo o computador como uma ferramenta de modelagem que possibilita aos estudantes emular as predições dos modelos científicos, e ii) de Ronen e Eliahu (2000), Olympiou e Zacharia (2011) e Dorneles, Araujo e Veit (2012), entendendo que a integração de atividades experimentais e computacionais evidencia as diferenças substanciais entre teorias e realidade. A partir disso, incentivamos o uso por parte dos alunos de *softwares* como o Modellus e Planilhas Eletrônicas para realizar a simulação dos modelos científicos estudados, produzindo assim predições por meio desses modelos, possibilitando então a contrastação dessas predições com dados coletados experimentalmente. Além disso, estimulamos os estudantes a usar o computador também para coletar dados experimentais em suas investigações por meio de videoanálises com o *software* Tracker e de sistemas construídos com a placa Arduíno.

Influenciados pelos resultados dos estudos de Buffler, Lubben e Ibrahim (2009) e de Guillon e Séré (2002), que detectam relações entre as concepções de Ciência dos estudantes e os seus procedimentos de análise de dados, procuramos realizar debates com os estudantes sobre os motivos da existência de discrepâncias entre dados experimentais e predições baseadas em modelos teóricos. Tal estratégia foi adotada com o intuito de possibilitar que os estudantes compreendessem que os modelos são representações simplificadas da realidade, evoluindo em suas concepções de Ciência, o que, em nosso entendimento, tornaria os alunos mais conscientes dos propósitos envolvidos em procedimentos de análise estatística de dados experimentais. Além disso, julgávamos

que, em decorrência de uma melhor compreensão sobre as discrepâncias entre modelos científicos e eventos reais, os estudantes passariam a tratar com mais naturalidade incertezas experimentais, não se decepcionando com a detecção de diferenças entre previsões e dados experimentais, possibilitando o desenvolvimento de atitudes mais favoráveis em relação à Ciência.

Como mencionamos na seção anterior, Antúñez, Pérez e Petrucci (2008) concluíram que a maior parte dos professores de cursos superiores não propõe nem desenvolve estratégias explícitas para aulas de laboratório. Mencionamos também que Koponen (2007) destaca que as metodologias de atividades com enfoque no processo de modelagem científica propostas na área de ensino de Ciências têm sido frequentemente desenvolvidas sem um apoio epistemológico explícito, profundo e consistente. Frente aos problemas detectados por esses autores, a principal contribuição desta tese é o desenvolvimento e a avaliação de um referencial teórico-metodológico bem amparado teórico-epistemologicamente que pode amparar professores e pesquisadores no delineamento, execução e avaliação de atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica. Além disso, os estudos realizados nesta tese avançam em relação aos artigos presentes na literatura quando procuramos avaliar não somente os resultados de aprendizagem dos estudantes, como os pesquisadores usualmente fazem de acordo com a revisão da literatura de Louca e Zacharia (2012), mas também analisar o processo de aprendizagem em atividades de modelagem.

Por fim, os artigos de Andrés, Pesa e Meneses (2008) e de Jaime e Escudero (2011) representaram uma inspiração para os estudos realizados na medida em que eles evidenciam que a Teoria dos Campos Conceituais, de Vergnaud, tem potencial para amparar o delineamento de um referencial teórico-metodológico para o desenvolvimento de atividades experimentais. Como poderá ser constatado a partir do Estudo 2, essa teoria exerceu grande influência sobre as atividades de ensino e de investigação realizadas nesta tese. A Teoria dos Campos Conceituais assim como todos os outros referenciais teóricos usados nesta tese são detalhados no próximo capítulo.

3. Referenciais Teóricos

A metodologia de Ciclos de Modelagem de David Hestenes (2006) pode ser entendida como o embrião desta investigação. A estrutura apresentada pelo autor enfocando o processo de modelagem científica nas aulas de laboratório inspirou as atividades desenvolvidas em todos os estudos empíricos desta tese. No entanto, em função de algumas limitações detectadas na proposta de Hestenes e que serão detalhadas mais adiante, tivemos a necessidade de adotar um referencial epistemológico que nos amparasse durante o delineamento, a execução e a avaliação das atividades experimentais conduzidas nos estudos empíricos desta tese. Escolhemos adotar a concepção de Ciência de Mario Bunge (1974, 1989, 2010) principalmente em função da sua clareza sobre o processo de modelagem científica e do seu potencial para amparar pesquisas com enfoque no ensino de Ciências já debatido em trabalhos anteriores (e.g., BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2011; CUPANI & PIETROCOLA, 2002; PIETROCOLA, 1999; WESTPHAL & PINHEIRO, 2004).

No segundo estudo empírico realizado, precisamos nos amparar também em um referencial teórico sobre o processo de ensino-aprendizagem. Assumindo a concepção de que a modelagem científica constitui um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física, adotamos a Teoria dos Campos Conceituais de Gerard Vergnaud (1998; 2009; 2013a; 2013b; 2014) como referencial teórico, e nos amparamos na Modelagem Didático-Científica Reflexiva de Brandão, Araujo e Veit (2011, 2012, 2014) para estabelecermos um entrelaçamento consistente entre a concepção de modelagem científica de Bunge e as ideias de Vergnaud.

Nas próximas seções, apresentamos os principais aspectos: i) da metodologia de ensino proposta nos ciclos de modelagem de Hestenes; ii) da concepção de Ciência de Bunge; iii) da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud; e iv) da Modelagem Didático-Científica Reflexiva de Brandão, Araujo e Veit.

3.1 Ciclos de Modelagem de Hestenes

Hestenes (1996) entende que o objetivo primordial do ensino de Ciências é possibilitar que os estudantes desenvolvam habilidades para confeccionar e usar modelos para entender o mundo físico e avaliar informações relatadas por outros. Para tanto, Hestenes parte do princípio de que os alunos aprendem de forma mais significativa a partir de atividades que os envolvam ativamente na construção e utilização de modelos e que os façam comunicar seus resultados aos colegas (HESTENES, 2006). Para isso, o autor propõe que o ensino de Ciências seja desenvolvido por meio de ciclos de modelagem, que são divididos em dois estágios principais denominados pelo autor como: *desenvolvimento do modelo* e *implementação do modelo*.

Tipicamente o primeiro estágio começa por uma demonstração e uma discussão em classe. Nessa etapa, denominada *discussão pré-laboratorial*, o objetivo é estabelecer um entendimento comum de uma pergunta a ser respondida sobre a natureza (JACKSON, DUKERICH & HESTENES, 2008). Essa demonstração pode ser conduzida de diferentes formas, podendo ser explorados vídeos, simulações computacionais, experimentos de laboratório etc. Além disso, ao contrário de iniciar pela

exposição de uma situação física para que os estudantes explorem e construam um modelo teórico com o intuito de descrevê-lo, o ciclo pode começar com a apresentação de um modelo teórico, cabendo aos alunos avaliar a sua adequação para descrever uma determinada situação. O essencial é que o problema envolva o uso de habilidades e ferramentas de modelagem (HESTENES, 1996), e para isso até mesmo típicos problemas acadêmicos podem ser adaptados para ciclos de modelagem. Brewe (2008) apresenta um exemplo que é exibido no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Exemplo de problema adaptado para atividades de modelagem (BREWE, 2008).

Problema Padrão	Problema de Modelagem
Uma corda é usada para puxar um bloco de 3,57 kg ao longo 4,06 m com velocidade constante em um piso horizontal. A força exercida pela corda sobre o bloco tem uma magnitude de 7,68 N e forma um ângulo de $15,0^\circ$ com a superfície. Quais são (a) o trabalho realizado pela força da corda, (b) o aumento da energia térmica do sistema bloco-piso, e (c) o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o piso?	Construa o modelo mais completo que conseguir da seguinte situação: Um bloco de 3,57 kg é puxado com velocidade constante ao longo de 4,06 metros de um piso horizontal por uma corda. A força exercida pela corda sobre o bloco tem uma magnitude de 7,68 N e forma um ângulo de $15,0^\circ$ com a superfície.

A segunda etapa do primeiro estágio dos ciclos de modelagem é denominada *investigação*. Em pequenos grupos, os alunos trabalham no planejamento e na condução de experimentos para responder ou esclarecer o problema proposto (JACKSON, DUKERICH & HESTENES, 2008). Durante essa etapa, os professores devem estar preparados para introduzir novas ferramentas de representação na medida em que os alunos estiverem preparados para fazer bom uso delas. Hestenes (2006) destaca que é necessário dar-se maior atenção ao papel crítico do tipo de representação no desenvolvimento da compreensão física. Deve-se reconhecer que a habilidade de modelar, e assim compreender, depende das ferramentas disponíveis (equações, gráficos, tabelas, diagramas etc.). Portanto, é preciso que as atividades sejam projetadas para auxiliar os estudantes a desenvolverem habilidades associadas ao uso de tais ferramentas. Além disso, os termos técnicos também são introduzidos pelo professor na medida em que são necessários para aprimorar a qualidade do discurso dos estudantes. Durante esse processo os alunos contam com um pequeno quadro-branco (120 cm x 90 cm) onde compartilham suas ideias. Esse mesmo quadro voltará a ter um papel de destaque na última etapa desse estágio do ciclo de modelagem, quando os alunos comunicam seus achados de forma oral aos colegas e dialogam comparando os resultados de cada grupo. A Figura 2 apresenta um desses quadros sendo utilizado em um ciclo de modelagem.

Ainda durante a fase de investigação, os estudantes avaliam a adequação do modelo teórico utilizado para representar o fenômeno físico estudado. Hestenes (1996) ressalta que não é de se esperar uma correspondência perfeita, porque cada modelo é uma representação incompleta, havendo sempre algumas características do sistema que não são representadas pelo modelo. Essa avaliação de validade passa por uma análise do que é negligenciado pelo modelo teórico, e pode envolver também um balanço das fontes de incerteza dos experimentos e das conseqüentes incertezas dos dados empíricos obtidos.

A última etapa do estágio de desenvolvimento dos ciclos de modelagem é denominada *discussão pós-laboratorial* na qual os alunos apresentam e justificam as suas conclusões na forma

oral e escrita (JACKSON, DUKERICH & HESTENES, 2008). Para isso, utilizam as mais diversas ferramentas de representação destacando-as em seus quadros-brancos, como é ilustrado na Figura 3.1. Com isso, busca-se aprimorar a habilidade de argumentação dos alunos e a qualidade de seus discursos. Durante essa etapa, é importante se estabelecer um clima de abertura e respeito em que cada estudante se sinta incentivado a participar. O professor assume o papel de mediador e fica atento às principais concepções alternativas que os alunos externalizam sobre os conteúdos de Física abordados. Esses equívocos são discutidos com os estudantes, que são convidados a explicitar suas ideias e raciocínios de modo que, a partir de suas contribuições, se estabeleçam as bases para o compartilhamento de significados entre os participantes do processo de ensino-aprendizagem. A participação ativa dos estudantes nas etapas anteriores do ciclo de modelagem melhora a qualidade dessa discussão de encerramento (HESTENES, 2006).



Figura 3.1 – Estudantes apresentando seus resultados aos colegas.

No segundo e último estágio dos ciclos de modelagem, denominado *implementação*, os estudantes utilizam o modelo recém-explorado em novas situações para refinar e aprofundar a sua compreensão (JACKSON, DUKERICH & HESTENES, 2008). Os estudantes trabalham em problemas desafiadores em pequenos grupos, e depois apresentam e defendem seus resultados para a classe por meio dos quadros brancos. Essa fase inclui questionários, testes, trabalhos em laboratório, implementação computacional etc. O Quadro 3.2 resume os estágios e as fases dos ciclos de modelagem de Hestenes.

O elemento mais crítico na implementação bem sucedida dos ciclos de modelagem é a habilidade do professor em sala de aula. Ele deve ter clareza dos seus objetivos e sempre manter um ambiente de abertura com seus alunos. Os estudantes devem ser envolvidos repetidamente nas discussões sobre modelagem para que naturalmente substituam termos vagos da linguagem cotidiana por termos científicos e esse processo pode durar semanas (HESTENES, 1996).

Quadro 3.2 – Resumo dos estágios e das fases dos ciclos de modelagem propostos por Hestenes.

<p>Primeiro Estágio: Desenvolvimento do modelo</p>	<p>1) Discussão pré-laboratorial: professor apresenta o problema.</p> <p>2) Investigação: em pequenos grupos, os alunos trabalham no planejamento e condução de experimentos.</p> <p>3) Discussão pós-laboratorial: em conjunto, os alunos apresentam e justificam as suas conclusões na forma oral e escrita por meio dos quadros brancos.</p>
<p>Segundo Estágio: Implementação do modelo</p>	<p>Alunos implementam o modelo recém- confeccionado em outras situações.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Problemas • Novos experimentos • Implementação computacional

Procurando sintetizar as potencialidades dos ciclos de modelagem, Brewe (2008) atribui três grandes vantagens ao uso dessa metodologia no ensino de Ciências. São elas:

- Ao contrário do ensino tradicional, que é organizado em tópicos desconectados muitas vezes associados com a sequência dos capítulos de um livro, os ciclos de modelagem são organizados em torno de alguns modelos gerais que são continuamente revisitados e refinados. Desse modo, os alunos têm a oportunidade de visitar e, assim, reforçar os conteúdos aprendidos. O número limitado de modelos mantém os alunos voltados para os princípios fundamentais da Física.
- Os ciclos de modelagem proporcionam aos estudantes uma experiência de aprendizagem que é representativa do trabalho de cientistas. Tanto os modelos como o conhecimento científico são tratados como incompletos, e suas limitações são regularmente examinadas. Através do trabalho com modelos, os alunos começam a entender a Ciência como um processo em andamento.
- Os ciclos de modelagem possibilitam que os alunos evoluam em suas capacidades de desenvolver, testar e refinar modelos quantitativos, que são habilidades muito importantes, que são transferíveis para outras disciplinas científicas. Além disso, enquanto os cursos tradicionais incentivam quase exclusivamente o uso de representações matemáticas na resolução de problemas, os problemas resolvidos nos ciclos de modelagem requerem o uso de múltiplas representações. Assim, os ciclos de modelagem incentivam os alunos a usar uma matriz de ferramentas poderosas.

Tratando das limitações dos ciclos de modelagem, Vesenska et al. (2002) destacam que existem alunos que não “compram” o processo proposto nas atividades. Os autores ressaltam também que: i) as atividades podem ser muito frustrantes para estudantes bem sucedidos na arte da memorização, e ii) alunos com baixo rendimento podem não gostar da exposição à qual são submetidos durante as discussões pós-laboratoriais. Corroborando essa limitação, Vesenska (2005) transcreve a angústia de um professor que enfrentou esse obstáculo: “um aluno de baixo rendimento caracterizou a discussão final como humilhante”. A autora afirma ainda ter identificado estudantes

que preferem ter contato primeiramente com as teorias necessárias para resolver os problemas enfrentados para somente depois se envolver com experimentos.

Inspiradas na metodologia de ensino proposta por Hestenes, todas as atividades experimentais desenvolvidas nos estudos empíricos desta tese foram estruturadas em três etapas: discussão pré-laboratorial, investigação, e discussão pós-laboratorial. O uso de quadros-brancos também foi adotado nas atividades durante as suas duas últimas etapas. Cientes das limitações dos ciclos de modelagem citadas aqui, procuramos promover um ambiente de confiança e de colaboração com os estudantes para que eles não se sentissem constrangidos durante as discussões pós-laboratoriais.

É importante ressaltar aqui que os problemas que propomos nas atividades desenvolvidas nos estudos empíricos desta tese apresentam características que os distinguem dos usualmente explorados por Hestenes e os seus colaboradores. Ainda que os problemas dos colaboradores de Hestenes sejam mais abertos que os tradicionais, possibilitando que os estudantes assumam uma postura mais ativa frente às atividades, eles se aproximam bastante dos problemas acadêmicos em termos da contextualização que se refere estritamente a eventos que só têm sentido no contexto científico, como o movimento de blocos explorado no exemplo do Quadro 3.1.

Na problematização das atividades desenvolvidas nos estudos empíricos desta tese, principalmente as conduzidas no segundo e no terceiro estudos, procuramos contextualizar os problemas propostos partindo de eventos cotidianos para apresentar a situação que seria enfrentada pelos estudantes. Convém esclarecer que consideramos cotidianos eventos que fazem parte do dia a dia de algum grupo social, do qual não necessariamente os alunos fazem parte. Por exemplo, moringas não fazem parte, de maneira geral, do cotidiano dos alunos, mas fazem parte do dia a dia de algumas comunidades. Não consideramos cotidianos os eventos produzidos de maneira controlada em laboratórios didáticos de Física como, por exemplo, em que corpos são postos em movimento em planos inclinados para o estudo de cinemática ou dinâmica. Em suma, durante a problematização das atividades experimentais conduzidas nesta tese, tínhamos por objetivo relacionar as investigações realizadas com eventos não idealizados e não controlados.

É fundamental destacar também que Hestenes propõe, além dos ciclos de modelagem, uma teoria de modelagem que abrange concepções sobre os processos de modelagem científica e de modelagem mental. No entanto, entendemos que ambas as concepções são expostas por Hestenes em seus artigos de modo muito superficial, não estabelecendo com clareza, por exemplo, a vinculação de duas ideias com teorias de aprendizagem bem consolidadas. Ainda que autor proponha relações teóricas entre modelos mentais e modelos científicos (HESTENES, 2006), não é aprofundada a discussão sobre como os conhecimentos científicos e as habilidades de modelagem dos indivíduos orientam suas ações frente a situações que suscitam a modelagem de eventos reais. Em relação à sua concepção epistemológica, o autor não esclarece com satisfatória profundidade como as suas considerações possibilitam compreender o processo de modelagem de eventos físicos que não pertençam ao campo da Mecânica, pois a quase totalidade dos exemplos tratados pelo autor em seus artigos envolvem a construção de representações em situações pertencentes a essa área do

conhecimento. Em decorrência dessas limitações identificadas na teoria de Hestenes, decidimos adotar nesta tese a concepção de Ciência de Bunge e a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud como, respectivamente, referenciais epistemológico e teórico de aprendizagem. Nas próximas seções, passamos a expor com detalhes esses referenciais.

3.2 Concepção de Ciência de Bunge

Defendendo a existência de uma realidade independente de qualquer mente, ou seja, de uma realidade objetiva, Mario Bunge denomina sua postura epistemológica de realismo científico. Para o autor, tal postura, assim como qualquer sistema filosófico compreensivo, é constituída por sete componentes que envolvem desde aspectos pertinentes ao fazer científico até particularidades relacionadas com moral e ética. São elas: ontológica, epistemológica, semântica, metodológica, axiológica, moral e prática (BUNGE, 2010). O que diferencia os três tipos de matizes do realismo (ingênuo, crítico e científico) são as características de suas componentes. Os matizes crítico e científico apresentam, na perspectiva bungeana, características nas componentes epistemológica e semântica que representam um avanço em relação ao realismo ingênuo. Por exemplo, a tese de que todo conhecimento é incompleto e falível é típica dos matizes científico e crítico do realismo. Desse modo, o realismo científico não vindica que o nosso conhecimento do mundo externo seja completo: *“Testes de realidade (testes empíricos) mostrarão repetidamente que mesmo as mais acuradas teorias são, no melhor dos casos, mais ou menos aproximações que chegam cada vez mais perto da realidade e podem ser aperfeiçoadas”* (ibid., p. 60).

A tese de que a melhor estratégia para explorar o mundo é “o método científico”, também chamada de científicismo, é o cerne da componente metodológica do matiz científico do realismo (idem). Para Bunge, esse aspecto proporciona um avanço do realismo científico em relação ao realismo crítico. No entanto, o autor defende uma concepção para a expressão “método científico” bastante diferente da proposta pelos empiristas-indutivistas do século XVI. Para entender a acepção de Bunge para “método científico”, é preciso primeiramente compreender que nem toda investigação científica busca o conhecimento objetivo. Bunge destaca que a Lógica e a Matemática, por exemplo, são racionais, sistemáticas e verificáveis, mas não são objetivas, ou seja, não nos dão informações sobre a realidade. Em suma, os lógicos e os matemáticos não se ocupam dos fatos¹², eles constroem seus próprios objetos. Com base em tal raciocínio, Bunge distingue dois tipos de Ciências: as formais (ou ideais) e as factuais (ou materiais). Uma das principais diferenças entre tais Ciências se refere aos métodos com os quais seus enunciados são testados: enquanto as ciências formais buscam provar rigorosamente seus teoremas, as ciências factuais vão além da lógica formal, pois, para confirmarem suas conjecturas, elas se amparam em operações empíricas. Decorre disso que as Ciências formais demonstram ou provam; as factuais verificam hipóteses e/ou teorias que, em sua

¹² A compreensão do significado atribuído por Bunge para o termo *fato* perpassa pelo entendimento da distinção que o autor faz entre objetos materiais (concretos), como pássaros ou escolas, e objetos imateriais (abstratos), como conceitos e teorias. Fatos são, então, estados ou mudanças de estado de objetos concretos (BUNGE, 2010).

maioria, são provisórias. A demonstração é completa e final; a verificação, devido às simplificações dos modelos, é incompleta e, por isso, provisória (BUNGE, 1974).

Os caminhos das Ciências não são bem definidos e Bunge destaca isso com frequência. O autor argumenta que **não existe** um conjunto de receitas exaustivas e infalíveis que qualquer indivíduo possa manejar para inventar ideias científicas dizendo:

A maneira de proceder característica da Ciência é chamada de método científico. O nome é ambíguo. Por um lado, é merecido porque tal método existe e é eficaz. Por outro, a expressão 'método científico' é enganosa, pois pode induzir a crer que consiste em um conjunto de receitas exaustivas e infalíveis que qualquer pessoa pode realizar para inventar ideias e colocá-las à prova. Na verdade, não há tais receitas populares para investigar. O que há é uma estratégia da investigação científica (BUNGE, 1980, p. 48).

Bunge argumenta ainda que o trabalho criativo, que, entre outras coisas, engloba o processo de invenção das ideias científicas, não pode ser sintetizado em um conjunto de regras, dizendo:

O homem tem inventado uma variedade de procedimentos para fazer de tudo, desde naves espaciais até teorias sobre teorias. Alguns desses procedimentos são regulares e têm sido formulados explicitamente como outros tantos conjuntos de regras. Nesse caso, cabe chamá-los de métodos. Mas nem toda atividade racional tem sido regrada. Em particular, ninguém encontrou, ou talvez possa encontrar, métodos (ou conjunto de regras) para inventar coisas ou ideias. A criação original, diferente das tarefas rotineiras, não parece ser regrada. Em particular, não há métodos (regras) para inventar regras (métodos). E, reciprocamente, o trabalho regrado, ou o regramento, não se distingue por sua criatividade. Quem acredita no contrário, ou seja, que há método para tudo, e que para fazer qualquer coisa é necessário e suficiente aprender os métodos correspondentes, são metodólotras a quem não se deve nenhuma contribuição original obtida usando os métodos que preconizam (idem).

Podemos dizer que Bunge defende que o “método científico” é um caminho que torna as investigações mais promissoras. É importante ressaltar novamente que o autor não entende que esse método automaticamente produz o saber científico, ou que é a única forma de produzi-lo. No entanto, ele tem convicção de que esse caminho diminui a chance do pesquisador se desorientar no caos aparente dos eventos investigados. A pesquisa científica não é irregular, é metódica.

Contudo, o método de Bunge não aborda a gênese das hipóteses, pois não há um algoritmo a seguir para a produção de hipóteses relevantes. Elas não são impostas pelos fatos, mas são inventadas para explicar aquilo que é assumido como fato. Desse modo, o “método científico”, como defendido por Bunge, se preocupa apenas com os problemas que as hipóteses e teorias esperam responder, assim como das verificações (falíveis e provisórias, por natureza) dessas hipóteses e teorias (BUNGE, 1974).

Bunge propõe que o “método científico” é composto por dez etapas, a saber (BUNGE, 2006, p. 246): i) levantamento de um corpo de conhecimento; ii) escolha do problema nesse corpo de conhecimento; iii) formulação ou reformulação do problema; iv) aplicação ou invenção de uma abordagem para tratar do problema; v) solução tentativa (hipótese, teoria, projeto experimental, instrumentos de medida etc.); vi) aferição da solução tentativa; vii) avaliação a solução tentativa à luz do teste e do conhecimento básico; viii) revisão ou repetição de qualquer dos passos prévios; ix) estimativa do impacto sobre o conhecimento básico; e x) avaliação final (até nova informação).

Destaca-se que o “método científico” bungeano começa pelo levantamento de um corpo de conhecimento, ou seja, começa considerando um conhecimento pré-existente, e não pela observação neutra, como é defendido pelos empiristas-indutivistas clássicos.

Já foi mencionado que o realismo científico é, para Bunge, o matiz mais desenvolvido do realismo, pois pressupõe que o “método científico” é a melhor maneira de se fazer boa Ciência. No entanto, as dez etapas especificadas por Bunge para o “método científico” se constituem em uma estratégia de investigação, restando ainda esclarecer como as teorias e modelos são construídos. Em outras palavras, ele não evidencia como as tentativas de soluções são construídas para resolverem um problema científico. Nesse sentido, a fim de elucidar como evolui o conhecimento científico, Bunge considera a modelagem científica como um dos procedimentos centrais do desenvolvimento da Ciência (BUNGE, 1974). De forma aparentemente paradoxal, o autor argumenta que, para compreender a realidade, é necessário primeiramente se afastar dela, pois o processo de modelagem é marcado por idealizações. Portanto, todo modelo teórico é aproximativo e parcial, isto é, apresenta limitações, pois abrange somente uma parcela das particularidades do objeto em estudo. Na próxima seção, apresentamos mais detalhes da concepção de Mario Bunge para o processo de modelagem científica.

3.2.1 O processo de modelagem científica

A modelagem científica começa pela definição de uma questão que se queira responder sobre algum fenômeno do mundo físico. Focado no propósito de responder a essa questão, é realizado o delineamento de um *objeto-modelo* (também chamado de *modelo conceitual*), ou seja, constitui-se uma representação conceitual esquemática de algo ou de uma situação real ou suposta como tal. Para isso, simplifica-se a descrição do mundo real; definem-se os traços-chave dos objetos concretos (os elementos reais pertinentes para a confecção do modelo científico). Os modelos conceituais sempre negligenciam muitos aspectos da realidade. No entanto, se um dado modelo não apresenta todos os detalhes que interessam, é possível melhorá-lo introduzindo alguns ou todos esses detalhes; isso complica o modelo, tornando-o cada vez mais complexo. Bunge ressalta isso dizendo que “*a formação de cada modelo começa por simplificações, mas a sucessão histórica dos modelos é um progresso de complexidade*” (idem, p. 14). Como exemplo de um modelo conceitual, pode ser citado o pêndulo simples. Tal objeto-modelo consiste em um corpo pontual suspenso por um fio inextensível e inflexível de massa desprezível oscilando em um plano vertical em torno de uma posição de equilíbrio. O pêndulo simples não existe na natureza: todos os fios possuem elasticidade e massa; todos os corpos possuem dimensões, mas esse modelo pode ser usado para descrever diversos sistemas físicos e pode ter sua complexidade modificada inserindo-se, por exemplo, uma ação resistiva do ar sobre o corpo suspenso.

Via de regra, os cientistas procuram usar os objetos-modelo para construir modelos teóricos com base em teorias gerais. O objeto-modelo “pêndulo simples”, por exemplo, pode ser inserido na mecânica newtoniana, que é uma teoria geral, produzindo assim um modelo teórico. Bunge apresenta outro exemplo dizendo que “*um fluido pode ser modelado como um contínuo dotado de certas*

propriedades, e semelhante objeto-modelo pode ser enxertado em uma das várias teorias gerais, digamos a mecânica clássica ou a mecânica relativística geral" (idem, p. 32). Por outro lado, existem casos em que as teorias gerais dirigem o delineamento dos objetos-modelo. Exemplificando, Bunge diz que *"na Física atômica e molecular, a construção dos modelos teóricos consiste usualmente na aplicação de uma teoria genérica (mecânica quântica, na maior parte) aos modelos das coisas em causa"* (ibid., p. 35). Destacamos, no entanto, que frequentemente a escolha de uma teoria geral e a construção de um modelo conceitual não são processos desassociados; muitas vezes construímos modelos conceituais à luz da teoria geral na qual pretendemos inseri-lo.

A mecânica newtoniana, assim como qualquer teoria geral isolada, não nos fornece previsões sobre eventos particulares. Por isso, a avaliação de sua adequação para descrever fatos reais passa pelo uso das suas leis em modelos teóricos que, esses sim, nos fornecem previsões sobre eventos reais e, portanto, são sujeitos à confrontação com experimentos reais ou supostos como tais. Bunge destaca isso dizendo que *"quando a gente enriquece um sistema teórico de um objeto-modelo que delinea alguns pormenores do objeto concreto em questão, estreita-se a extensão do domínio de validade de aplicação da teoria geral, mas em compensação tornamo-la verificável"* (ibid., p. 24).

Todo modelo teórico se refere a um determinado objeto-modelo e, caso ele não esteja em acordo com os dados factuais, pode-se pensar em modificar o modelo conceitual considerado ou escolher outra teoria geral, se houver. Essas modificações dependem dos frutos anteriormente produzidos pelo modelo teórico e da história das teorias gerais envolvidas. Todo modelo teórico versa, em última análise, sobre objetos reais ou supostos como tais. Além disso, a ciência busca tratá-los de maneira objetiva (separando-os do sujeito e considerando-os invariantes com respeito ao operador) e verdadeira (adequada). Estes objetos reais (independentes da mente) são chamados *referentes* e, sem eles, não há sentido na teorização de um modelo teórico. Só se pode estimar a adequação de um modelo teórico comparando-o com o comportamento dos referentes reais considerados. De modo geral, quanto mais referentes forem considerados pelo modelo conceitual, mais complexo poderá ser o modelo teórico e maior será a precisão do modelo teórico. No entanto, um modelo teórico nunca produzirá uma "imagem especular" da realidade.

Não se pode esperar que tal adequação seja completa, se não for por outro motivo, pelo menos porque uma teoria física é construída pela invenção de um modelo simplificado e inteiramente hipotético do referente pretendido (idem).

Um único modelo conceitual pode ser usado na representação de um grande número de objetos concretos, assim como um objeto concreto pode ser representado por mais de um objeto-modelo. O Quadro 3.3 mostra alguns exemplos: o escoamento de água no interior de uma tubulação pode ser descrito através de dois modelos conceituais distintos dependendo dos objetivos do modelo teórico. Ademais, pode-se adotar o sistema planetário (objeto-modelo) para descrever duas situações físicas distintas: o movimento dos planetas do sistema solar e o comportamento da matéria em nível microscópico.

O Quadro 3.3 mostra que diferentes teorias gerais podem ser aplicadas a um mesmo modelo conceitual produzindo diferentes modelos teóricos. A escolha de um ou outro modelo conceitual e a

escolha de uma ou outra teoria geral depende dos propósitos que norteiam a construção do modelo teórico, e esses propósitos estão intimamente ligados com a questão que se procura responder com ele e com a precisão desejada para as suas previsões. Como exemplo, pode-se querer descrever o movimento de um automóvel em dois casos diferentes: para estimar o tempo de viagem de um sujeito que se desloca de carro para o litoral e para analisar o desempenho de um piloto de corrida em uma competição. Na primeira situação, o modelo conceitual escolhido provavelmente consideraria apenas a velocidade média do automóvel, pois o foco está no instante de partida e de chegada do carro, sem necessidade de grande precisão do que ocorre nos instantes intermediários. Já o engenheiro que busca otimizar o rendimento do carro de corrida certamente estaria interessado em mais detalhes do movimento do automóvel e usaria um modelo conceitual mais complexo apesar de estar tratando da mesma situação a ser modelada: o movimento de um automóvel.

Quadro 3.3 – Exemplos de situações modeladas em Física (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2008, p. 12).

Situação a ser modelada	Modelo conceitual	Teoria geral	Modelo teórico
Escoamento da água no interior de uma tubulação	Fluido contínuo sem viscosidade	Mecânica dos Fluidos	Modelo de fluido ideal
	Fluido contínuo com viscosidade		Modelo de fluido viscoso
Certa quantidade de gás contida num recipiente fechado	Sistema de partículas termicamente isolado que não interagem entre si	Mecânica Estatística	Modelo de gás ideal clássico
		Mecânica Quântica	Modelo de gás ideal quântico
Comportamento da matéria em nível microscópico	Sistema planetário	Mecânica Clássica e Eletromagnetismo	Modelo atômico de Rutherford
Movimento dos planetas do sistema solar		Mecânica Clássica	Modelo planetário de Newton

Os modelos teóricos, segundo Bunge, podem ou não englobar mecanismos que explicam as transições de estado dos fenômenos físicos. As denominadas *teorias de caixa-preta* são aquelas que não assumem mecanismos hipotéticos para descrever as mudanças temporais dos fenômenos físicos, ou seja, elas apenas nos fornecem o estado final de um sistema em função de suas condições iniciais. Um exemplo de teoria de caixa-preta pode ser encontrado na cinemática. Nos modelos teóricos construídos à luz dessa teoria, as variações temporais das grandezas representadas (e. g. posição, velocidade, aceleração) são descritas sem suposições quanto às suas causas. Em outras palavras, ao contrário da mecânica newtoniana, por exemplo, ela não revela mecanismos que elucidem as transições de estado dos sistemas físicos. São teorias desse tipo que, de modo geral, são produzidas em campos da Ciência ainda imaturos.

Em contraponto às teorias de caixa preta, as *teorias de caixa translúcida* referem-se a processos internos descritos por variáveis indiretamente controláveis. A mecânica newtoniana, por exemplo, pressupõe uma propriedade denominada “massa”, construto esse somente indiretamente

mensurável e não observável¹³. Já a teoria eletromagnética pressupõe a existência de entes hipotéticos supostamente reais como, por exemplo, os elétrons. Desse modo, tais teorias propõem mecanismos que expliquem as transições de estados dos fenômenos.

Influenciado pela analogia das teorias como caixas-pretas ou translúcidas, Bunge (1974, p. 73) divide então os problemas da Física em três categorias:

- *Os problemas de previsão: dados o estado inicial e a caixa (negra ou translúcida), busca-se descrever o estado final de um sistema físico.*
- *Os problemas de inverso de previsão: dados o estado final e a caixa (negra ou translúcida), busca-se descrever qual era o estado inicial de um sistema físico.*
- *Os problemas de explanação: dados o estado inicial e o final de um sistema físico, busca-se apresentar uma caixa que descreva sua transição (negra ou translúcida).*

Nos dois primeiros estudos desenvolvidos nesta tese, conduzimos atividades de ensino em que procuramos destacar:

- i) a impossibilidade de se testar diretamente uma teoria geral (e.g., Leis de Newton) por meio de dados coletados experimentalmente, prescindindo do uso de um modelo conceitual ou teórico;
- ii) o caráter representacional dos modelos teóricos, enfatizando que eles são representações esquemáticas recheadas de idealizações e aproximações, e nunca cópias especulares dos referentes e eventos que representam, tornando as discrepâncias entre previsões de modelos teóricos e resultados empíricos inevitáveis; e
- iii) que o domínio de validade dos modelos teóricos é extrapolado quando a influência dos aspectos desprezados torna essas discrepâncias insatisfatórias frente ao grau de precisão desejado.

Os resultados desses estudos evidenciaram a necessidade de aprofundar as discussões realizadas nas atividades enfatizando também o processo de contrastação empírica no estudo de modelos científicos. Em função disso, antes do desenvolvimento do Estudo 3 desta tese foi realizado um aprofundamento da concepção de Mario Bunge sobre o papel das operações empíricas dentro do processo de modelagem científica. Esse aprofundamento, que é apresentado na próxima seção, amparou o Estudo Teórico que será apresentado no Capítulo 7.

3.2.2 Operações empíricas no processo de modelagem científica

As experiências científicas podem ser conduzidas com diferentes objetivos e metodologias. Procurando elucidar o delineamento e a execução dessas experiências, Bunge estabelece que todas elas são constituídas por uma composição de diferentes operações empíricas denominadas: i) observações; ii) medições; e iii) experimentos (BUNGE, 1989). Passamos agora a apresentar algumas das características de cada uma dessas operações.

¹³ Bunge usa o termo “observação” em um sentido estrito de observação direta. Mais detalhes sobre sua concepção sobre esse termo são apresentados na Seção 3.2.2.

A *observação*, segundo Bunge, é a operação empírica básica, pois tanto as *medições* quanto os *experimentos* envolvem observações de fatos. Cabe ressaltar, no entanto, que a definição usada por ele restringe o uso do termo observação ao sentido estrito de *observação direta*. Reações químicas ou sentimentos só são observáveis indiretamente, ou seja, só são identificados por meio de inferências hipotéticas derivadas de observações diretas. Nos exemplos citados, as observações podem, respectivamente, envolver a análise da cor de uma substância ou uma avaliação da expressão facial de um indivíduo (*idem*).

Dois características são intrínsecas às observações científicas: são percepções intencionadas e ilustradas. Intencionadas ou deliberadas porque são realizadas com um objetivo pré-estabelecido. Ilustradas porque são guiadas em algum nível por um conhecimento prévio. Essas particularidades das observações científicas elucidam os motivos pelos quais o indivíduo leigo pode falhar quando realiza uma observação científica. Primeiramente, em função de não possuir o olhar treinado do especialista, ele pode nem ao menos identificar o que precisa observar. Em seguida, ainda que testemunhe o objeto, a falta de um conhecimento científico adequado pode implicar no não reconhecimento do evento observado, o que faz com que ele não seja capaz de apreender os aspectos mais importantes da observação. Por fim, ainda que tenha identificado aspectos do fato observado de forma satisfatória, o leigo provavelmente será incapaz de interpretá-los teoricamente. Fica evidente, portanto, que as observações são amparadas em marcos teóricos pré-estabelecidos (*idem*).

Bunge ressalta que as observações são insuficientes para se alcançar os mais significativos objetivos da Ciência (*idem*). O conhecimento factual profundo e preciso necessita de um apoio empírico baseado em medições e experimentos. Isso decorre do fato de que a maioria dos eventos nos quais os cientistas se debruçam não é observável diretamente. Usualmente eles são inferidos por meio de hipóteses que os relacionam com medições de fatos perceptíveis. Exemplificando essas relações, Bunge destaca que as roupas, o(s) automóvel(veis) e a maneira de se manifestar de um homem integram um conjunto de indicadores objetivos do seu *status* social, que é em si mesmo inobservável. Esses indicadores de correspondentes inobserváveis são postulados por teorias, ou seja, por sistemas hipotéticos-dedutivos.

Com o objetivo de aprofundar a discussão sobre indicadores observáveis de fatos inobserváveis, Bunge utiliza o conceito de função. O autor denomina de U um dos membros de um conjunto de valores possíveis de uma propriedade inobservável, que pode ser, por exemplo, a pressão atmosférica. Por outro lado, ele denomina de O um membro de um conjunto de valores de uma propriedade diretamente observável que, no caso exemplificado, pode ser a altura de uma coluna barométrica. Supomos então que existe uma função que relaciona o valor de U com o valor de O , ou seja, uma função $f(O) = U$. Desse modo, os valores de U podem ser inferidos por meio dos valores de O . No exemplo apresentado, a pressão atmosférica pode ser inferida por meio da altura de uma coluna barométrica. Cabe ressaltar que tanto U como O são conceitos teóricos. No entanto, ao contrário de U , O representa uma propriedade observável, e a relação entre tais conceitos é em si mesma uma hipótese durante uma medição. Outro exemplo de relação entre grandezas observáveis

e inobserváveis é a vinculação entre a velocidade angular de um anemômetro, que é uma propriedade observável, e a velocidade do vento, que é inobservável (idem).

A observação pura e simples, tanto direta quanto indireta, só é capaz de apreender alguns traços de um sistema concreto. Para torná-las precisas e mais claramente comparáveis, é preciso quantificá-las, ou seja, atribuir números a certas características observadas. Quando essa quantificação é feita, segundo Bunge, faz-se uma operação empírica de *medição* (idem).

O processo de medição envolve sempre ao menos um sistema macroscópico: o dispositivo de medição. Bunge destaca que, no nível macroscópico, não existem dois sistemas idênticos; mesmo que possam ser muito sucintas, sempre haverá diferenças entre eles. Decorre disso o fato de que é bastante improvável que se obtenham dois resultados de medições exatamente iguais. Bunge sintetiza tal fato dizendo que “*os resultados de qualquer conjunto de medições cuidadosas são diferentes porque todos os sistemas implicados nesses processos estão submetidos a perturbações*” (ibid., p. 778).

O *experimento* científico é, segundo Bunge, a terceira e mais rica operação empírica. Sua definição é bastante precisa: “*Experimento é aquela classe de experiência científica na qual se provoca deliberadamente alguma mudança e se observa e interpreta seu resultado com alguma finalidade cognitiva*” (ibidem, p. 819). Dito de outro modo, um experimento envolve um evento construído propositadamente e é conduzido centrado em um objetivo. Dessa forma, a ação de um indivíduo que aprecia despretensiosamente a beleza da Lua em um telescópio não é um experimento, pois tal ação não é realizada com uma finalidade cognitiva, já que o sujeito não procura *a priori* investigar algum fenômeno lunar, e não abrange um evento delineado por ele, já que, evidentemente, não foi realizado nenhum tratamento na Lua com o intuito de produzir algum fenômeno particular. Na sequência, destacaremos algumas das características tanto dos objetivos dos experimentos científicos como dos seus delineamentos.

Uma dos aspectos centrais dos experimentos científicos é o controle de variáveis. Ao contrário dos fatos espontâneos, que são, na maioria dos casos, bastante complexos, os fatos experimentais são mais simples, o que os torna melhor observáveis. Isso ocorre porque os sistemas estudados em experimentos são construídos com base em um modelo teórico de referência. Desse modo, procura-se concentrar-se em torno de poucas variáveis de modo a minimizar perturbações e irrelevâncias presentes em todo sistema natural (BUNGE, 1989). Vejamos um exemplo: suponha que um indivíduo quer avaliar a relação entre o período e o comprimento do fio de um pêndulo prevista pelo modelo newtoniano de pêndulo simples. Nesse caso, é natural que o investigador escolha usar, como arranjo experimental, um pêndulo com: i) um corpo suspenso muito pequeno em relação ao comprimento do fio que o sustenta; e ii) um fio pouco elástico e com massa pequena em relação à massa do corpo suspenso. Além disso, esse investigador provavelmente movimentará o pêndulo com pequenas amplitudes. O objetivo do investigador com essas escolhas é aproximar o seu arranjo experimental do objeto-modelo que ampara o modelo teórico de referência do seu experimento. Fica evidente aqui que um experimento não é conduzido em um vazio teórico, mas sim dentro de um

corpo de ideias que origina o problema a ser respondido e dirige o delineamento e a interpretação da investigação.

Vimos que o sistema concreto estudado em um experimento é, em maior ou menor medida, inserido em um meio artificial devido aos procedimentos realizados pelo pesquisador para que o arranjo experimental seja o mais fiel possível ao modelo teórico que ampara a investigação. Além disso, outro fator que torna o meio experimental artificial são os procedimentos de controle de variáveis. Refletindo sobre o exemplo anterior, é importante que o indivíduo que procura avaliar a influência do comprimento do fio no período de um pêndulo faça todas as suas medidas com o pêndulo alongado em um mesmo ângulo inicial, pois ele deseja que, dentro do possível, as alterações no período dos pêndulos investigados ocorram somente em função de variações do comprimento do fio de sustentação. Como o modelo teórico de referência do seu experimento, que é o modelo newtoniano de pêndulo simples, prevê que o período de um pêndulo depende da sua amplitude, o investigador necessitará controlar essa grandeza na sua pesquisa. Fica claro aqui o papel dos modelos teóricos na definição das variáveis que necessitam ser controladas nos experimentos científicos. Torna-se evidente também que o controle do experimentador ocorre tanto nos estímulos que ele precisa provocar no arranjo experimental, como no momento em que ele coloca o pêndulo para oscilar, quanto sobre o arranjo em si, quando ele procura minimizar efeitos não considerados no seu modelo teórico de referência. Em suma, um experimento é deliberado, conduzido e interpretado dentro de um corpo de ideias.

As ideias científicas são contrastadas por meio de processos que envolvem operações empíricas. Tal fato é aqui ilustrado destacando dois tipos de contrastação: i) a de hipóteses científicas; e ii) a de teorias científicas (idem). Passamos agora a apresentar as características mais importantes desses dois casos de contrastação empírica.

A contrastação de hipóteses

Na concepção de Bunge, as hipóteses são proposições que vão além das evidências (BUNGE, 1989; 1998). Em outras palavras, as hipóteses referem-se a fatos que não foram experimentados até o momento ou mesmo que não são suscetíveis de experimentação. Bunge apresenta um exemplo: um indivíduo observa que a direção da agulha de um voltímetro conectado em um ramo de um circuito elétrico coincide com a marcação de 127 volts. A informação de que a direção da agulha coincide com a marcação de 127 volts é uma proposição observacional, pois ela não vai além do que foi observado pelo indivíduo. No entanto, nada mais é do que uma hipótese a inferência de que, naquele circuito específico, existe uma corrente elétrica circulando, pois tal fato não é observável. Essa hipótese pode ser inclusive equivocada, pois, por exemplo, o voltímetro pode estar estragado. Desse modo, fica claro que, apesar de se exigir em Ciência que as hipóteses sejam, em alguma medida, fundamentadas em conhecimentos prévios, elas não são diretamente contrastáveis. Por isso, o valor veritativo das hipóteses só pode ser avaliado por meio da contrastação direta de suas consequências em linguagem semiempírica (BUNGE, 1989). Analisaremos o que isso significa.

Consideremos a seguinte hipótese h : o ar é um fluido que obedece às leis da hidrostática. Bunge ressaltava que não existem operações empíricas suficientes que nos possibilitem avaliar essa proposição em sua totalidade, pois são inúmeras as consequências dessa hipótese e é inviável se investigar todo o ar presente na Terra. Entre as possíveis derivações de h , podem ser destacadas, por exemplo, a hipótese h_1 , que afirma que a pressão atmosférica diminui com a altitude, e a h_2 , que propõe que o ar exerce pressão sobre a superfície da Terra. No entanto, tal derivação não resolve o problema da contrastação de h , pois tanto h_1 como h_2 não são diretamente observáveis. Já a proposição de que a altura da coluna de mercúrio contida em um barômetro de Torricelli diminui com o aumento da altitude é uma consequência t da hipótese h_1 que é diretamente contrastável e que, portanto, pode ser defrontada com evidências. Tal exemplo ilustra o primeiro passo do processo de preparação da contrastação de hipóteses que pode ser simbolicamente resumido por $h \rightarrow t$.

Cabe ressaltar, no entanto, que a preparação $h \rightarrow t$ ainda é insuficiente para que a h possa ser contrastada com precisão. Pode ser necessária ainda uma transformação de t em uma linguagem semiempírica, produzindo t^* . Vejamos o seguinte exemplo: suponhamos que, de uma hipótese aleatória h , derivamos a consequência t que diz que um raio de luz deve incidir sobre um plano formando um ângulo α com o mesmo. Os conceitos de raio de luz, plano e ângulo α são todos não empíricos, pois fazem referência a eventos ideais. Não existem feixes de luz que se comportem exatamente como raios de luz; superfícies nunca são perfeitamente planas; e a projeção de uma hipótese nunca nos fornecerá um valor exato para uma grandeza. Em função disso, a contrastação de t , que é apresentada em uma linguagem teórica, depende de sua transformação para uma linguagem semiempírica t^* , ou seja, uma linguagem baseada em conceitos empíricos como, por exemplo: um estreito feixe de luz incide sobre uma superfície formando um ângulo entre $\alpha - \varphi$ e $\alpha + \varphi$ com a mesma, sendo φ a incerteza de tal ângulo.

O cerne da transformação $t \rightarrow t^*$ não é necessariamente a conversão de conceitos teóricos em conceitos empíricos, mas sim a preparação de proposições diretamente observáveis para serem comparadas com evidências construídas com base em dados coletados experimentalmente. Observemos outro exemplo: t é composta por um conjunto de proposições que determinam a posição de planetas em relação ao Sol em função do tempo. Provavelmente, as evidências construídas por um pesquisador que procura contrastar tais proposições t devem envolver dados das posições dos planetas coletados em relação a um referencial cuja origem se encontra na Terra. Nesse caso, as proposições contidas em t precisam ser convertidas para o mesmo referencial utilizado nas evidências empíricas construídas pelo investigador.

Assim como as proposições que constituem t precisam ser transformadas em t^* , as evidências ε coletadas experimentalmente precisam ser preparadas para serem contrastadas com t^* , produzindo um conjunto de proposições ε^* . Esclarecendo tal processo, vamos analisar o seguinte exemplo: um pesquisador deriva de suas hipóteses um conjunto de proposições t^* que prediz que a temperatura de um corpo específico decai exponencialmente em função do tempo. O investigador que procura avaliar seu valor veritativo provavelmente coletará dados da temperatura do corpo em diferentes instantes, e o conjunto desses dados constituirá ε . A fim de preparar ε para a contrastação com t^* , o pesquisador

poderá ajustar uma curva exponencial aos seus dados ε , que proporcionará um conjunto de predições ε^* diretamente contrastável com t^* . Será então por meio da confrontação de ε^* e t^* que o investigador avaliará se ε^* fornece um apoio empírico ou não para a hipótese h .

A Figura 3.2 sintetiza a estrutura geral proposta por Bunge para a contrastação de hipóteses e apresenta exemplos para os construtos envolvidos.

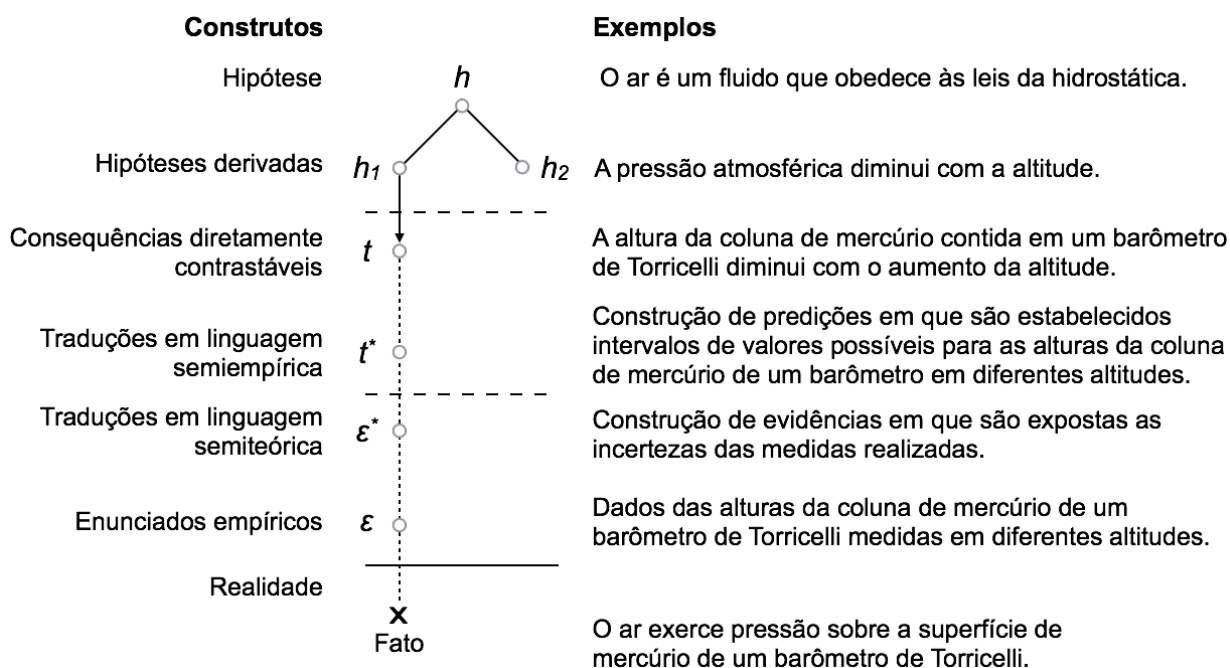


Figura 3.2 – As hipóteses científicas não são contrastáveis diretamente. Suas consequências t precisam ser traduzidas para a linguagem semiempírica assim como as evidências ε precisam ser traduzidas em linguagem semiteórica para finalmente ser possível a contrastação de t^* e ε^* (adaptado de Bunge, 1989, p. 878).

É importante destacar que as *evidências* das ideias científicas são diferentes das descrições de seus *referentes* reais. Bunge ressalta tal aspecto exemplificando com a teoria atômica. O apoio evidencial dessa teoria dificilmente envolverá informações sobre o comportamento individual dos átomos, mas sim sobre fatos molares que implicam em efeitos macroscópicos, como os observados em reações químicas. Dessas evidências são inferidas informações sobre o comportamento dos referentes da teoria atômica, ou seja, dos átomos.

Até o momento, nos concentramos em debater o processo de contrastação das ideias científicas denominadas hipóteses. Passamos agora a apresentar a concepção de Bunge sobre o processo de contrastação das teorias gerais. Ainda que esse processo guarde algumas semelhanças com a contrastação de hipóteses, existem algumas sutilezas que precisam ser ressaltadas quando falamos da avaliação do valor veritativo de teorias.

Contrastação de teorias científicas

O que fazemos quando desejamos contrastar uma teoria científica? Corremos para o laboratório imediatamente? Para Bunge, não, pois “há muitas operações conceituais que antecedem as empíricas” (ibidem, p. 909). Decorre disso a decisão do autor de distinguir as três etapas do

processo de contrastação de teorias. São elas: 1) o estágio teórico; 2) o estágio empírico; e 3) a inferência. Na sequência, essas etapas serão debatidas em detalhe.

Segundo Bunge, o estágio teórico é constituído pela organização de cinco elementos básicos para o delineamento de um experimento. São eles: 1a) os pressupostos P da teoria; 1b) os supostos específicos A do modelo teórico que será utilizado; 1c) os dados ε_i de experiências passadas e/ou presentes formulados na linguagem da teoria; 1d) as consequências contrastáveis t_i ; e 1e) interpretação das t_i em uma linguagem semiempírica.

Vamos analisar cada um desses elementos por meio de um exemplo: um possível processo de contrastação da mecânica newtoniana. Para isso, imaginemos novamente um indivíduo que procura avaliar o domínio de validade do modelo newtoniano de pêndulo simples. Mais especificamente, ele busca identificar a amplitude com a qual um pêndulo pode oscilar de modo que seu período não difira de mais de 5% do valor predito por meio do modelo contrastado.

No exemplo citado, constituem o conjunto P envolvido na contrastação todos os pressupostos da mecânica newtoniana como, por exemplo, a hipótese de proporcionalidade entre o somatório das forças que agem sobre um corpo e a sua aceleração em relação a qualquer referencial inercial. Ainda que esses pressupostos possam ser criticados antes e depois da contrastação empírica, eles não são postos à prova nesse processo, pois a contrastação deles não é direta, mas sim mediada pelo modelo teórico de pêndulo simples. As suposições específicas do modelo newtoniano de pêndulo simples como, por exemplo, a consideração de que o corpo suspenso é pontual e de que o fio de sustentação é inelástico e desprovido de massa, constituem o conjunto A que dirige a contrastação. Dados de experiências passadas ε_i , como, por exemplo, o valor da intensidade do campo gravitacional local, também são necessários para a investigação. Esses dados, em conjunto com os pressupostos P e A , possibilitam a dedução de consequências t_i da teoria, que constituem o objeto direto da contrastação. No caso da contrastação exemplificada, essa dedução pode resultar no período teórico de pêndulos simples com diferentes comprimentos. Cabe ressaltar que as proposições t_i estarão apresentadas com linguagem teórica, pois farão referência direta a conceitos não empíricos estabelecidos dentro do modelo teórico de pêndulo simples. Por isso, Bunge destaca que tais proposições precisam ser interpretadas para uma linguagem semiempírica. Para realizar essa interpretação, usualmente é necessário o uso de uma teoria auxiliar. Por exemplo, no caso exemplificado, o modelo teórico de pêndulo simples prevê valores exatos para o período de pêndulo ideais. Para se contrastar esses períodos, é necessário interpretá-los, com o uso auxiliar de uma teoria de incertezas, para se construir proposições que façam referência a pêndulos reais e que prevejam faixas de intervalo de tempo para os seus períodos, e não valores exatos para os mesmos. Essas interpretações são simbolizadas por Bunge como t_i^* , e o conjunto $\{t_i^*\}$ é denominado pelo autor de *predições* T^* , ou seja, $\{t_i^*\} = T^*$. No exemplo analisado, a teoria de incertezas, que é utilizada na confecção das predições contrastáveis, não é posta à prova no processo de contrastação.

Os elementos que precisam ser organizados no estágio empírico de uma contrastação são, segundo Bunge: 2a) os pressupostos teóricos Q dos procedimentos empíricos; 2b) os enunciados

empíricos ε_j ; e 2c) Interpretação das proposições observacionais com base nos pressupostos Q. Vejamos como esses elementos se relacionam com o exemplo que estamos analisando.

O período de um pêndulo não é uma propriedade diretamente observável. Como já foi discutido aqui, precisamos, nesses casos, relacionar uma propriedade observável com a grandeza que se pretende mensurar, e esse processo é mediado por um modelo teórico Q. Tomemos como exemplo o caso em que o investigador pretende medir o período de pêndulos reais por meio da mensuração da quantidade de água que escoar pelo orifício de um recipiente durante o intervalo de tempo que se deseja medir, ou seja, por meio de uma clepsidra¹⁴. A quantidade de água que escoar pelo orifício no instrumento durante um número definido de oscilações de um pêndulo é uma propriedade observável. Podemos inclusive medir essa quantidade coletando-a em um recipiente graduado. No entanto, o tempo transcorrido durante esse escoamento é somente inferido por meio do pressuposto de que esse intervalo é proporcional à quantidade de água que escoou pelo orifício, o que é uma das hipóteses (mais precisamente, uma idealização) que norteiam o modelo teórico Q que ampara o procedimento experimental realizado¹⁵.

Os enunciados observacionais ε_j da contrastação empírica podem nada mais ser do que dados sobre a altura do nível da água contida no recipiente que coletou a água escoada. Por isso, para torná-los contrastáveis com T^* , é necessário que seja a interpretação dos ε_j por meio do modelo Q, produzindo evidências empíricas ε_j^* . Por fim, o conjunto $\{\varepsilon_j^*\}$ é denominado por Bunge de *evidências* E^* , ou seja, $\{\varepsilon_j^*\} = E^*$. Nesse caso, o modelo Q, que é denominado por Bunge de teoria instrumental, precisaria ainda converter a quantidade de água coletada no instrumento para intervalos de tempo, o que possivelmente pode envolver um modelo do tipo caixa preta. É importante perceber que, assim como a teoria auxiliar utilizada na construção de T^* , o modelo Q não é posto à prova no processo de contrastação.

O último estágio do processo de contrastação de teorias para Bunge é a inferência. Basicamente, tal estágio é definido pela confrontação das predições com as evidências, ou seja, de T^* com E^* . Resultam dessa confrontação dois casos distintos: 3a) E^* concorda com T^* ; ou 3b) E^* não concorda com T^* . No primeiro caso, a evidência é compatível com as consequências da teoria considerando os limites aceitáveis das incertezas experimentais. Bunge diz então que a contrastação fornece apoio empírico à teoria contrastada, não uma prova da mesma. Quando E^* não concorda com T^* , ou seja, quando a discordância entre as predições e os dados ultrapassa a margem de tolerância da contrastação, duas são as possibilidades: as evidências discrepantes são aceitas como verdadeiras, ou são rejeitadas como suspeitas. A decisão por um dessas opções vai depender da análise criteriosa das operações empíricas realizadas na coleta dos enunciados observacionais ε e da

¹⁴ As clepsidras foram vastamente utilizadas na história da Ciência por importantes cientistas (MATTEWS, 2000). Galileu Galilei, por exemplo, relacionou o escoamento de água pelo orifício de um recipiente com o intervalo de tempo transcorrido durante o movimento de corpos (SETTLE, 1961).

¹⁵ Evidentemente, o período de um pêndulo pode ser mensurado atualmente com maior precisão e facilidade por meio de fotossensores. Nesse caso, o modelo teórico Q, que é implícito para o usuário do instrumento, pois suas medidas são apresentadas automaticamente por meio de *displays* eletrônicos, envolve desde conhecimentos sobre circuitos elétricos até fundamentos de estado sólido. A escolha por exemplificar o papel do modelo Q com o uso da clepsidra foi para tornar a compreensão das ideias de Bunge mais simples, pois, no caso da clepsidra, o modelo Q é explícito e mais trivial do que no caso de um fotossensor.

possível avaliação desses enunciados dentro de outros corpos de conhecimento distintos dos que foram utilizados na investigação.

As considerações de Bunge sobre o fazer experimental e sobre a contrastação de teorias evidenciam que a visão ingênua de que teorias e experiência são diretamente contrastáveis é insuficiente. Além disso, a concepção frequentemente identificada no meio acadêmico de que as predições são decorrentes exclusivamente das teorias e de que os dados brutos, que são contrastáveis com essas predições, são coletados diretamente da experiência, é também incompleta. O autor destaca que as predições e as evidências são construídas com o auxílio de teorias auxiliares e de dados de experiências passadas. A Figura 3.3 sintetiza essas concepções sobre a contrastação de teorias.

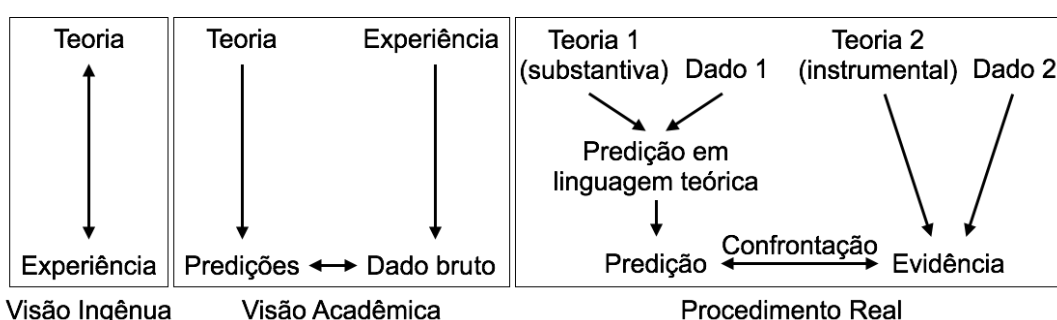


Figura 3.3 – Contrastação de teorias: na visão ingênua, teoria e experiência são contrastadas diretamente; a visão acadêmica entende que as predições derivam diretamente das teorias; o procedimento real envolve o uso de teorias auxiliares (BUNGE, 1989, p. 540).

Na Figura 3.4, relacionamos o esquema proposto por Bunge para representar o procedimento de contrastação de teorias científicas com os exemplos apresentados nesta seção.

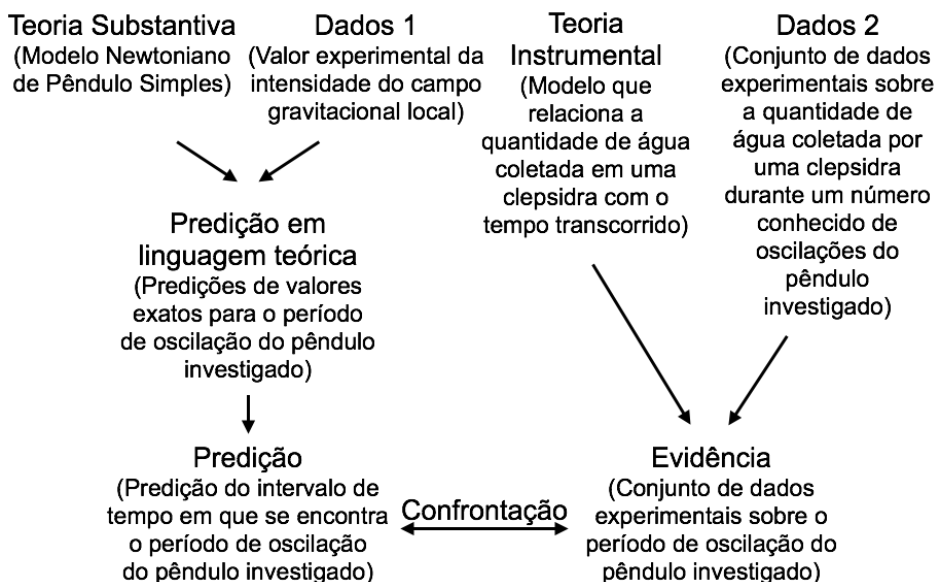


Figura 3.4 – Exemplo de contrastação empírica de uma teoria científica. O modelo newtoniano de pêndulo simples é usado na avaliação da Mecânica Newtoniana, que é o alvo mediato da contrastação.

A concepção epistemológica de Bunge ampara todas as atividades didáticas conduzidas nesta tese. No entanto, nos dois primeiros estudos desenvolvidos só foram incluídos os aspectos da teoria de Bunge que concernem ao processo de modelagem em um âmbito mais geral, sem o enfoque no fazer experimental. Mais precisamente, adotamos nos estudos empíricos 1 e 2 as concepções de modelagem presentes na Seção 3.2.1 deste capítulo. Ao final do segundo estudo, foi identificada a necessidade de se aprofundar as ideias de Bunge sobre o trabalho experimental, o que culminou na redação da seção 3.2.2 deste capítulo, que, por sua vez, amparou o Estudo Teórico e o Estudo Empírico 3.

As atividades conduzidas em todos os estudos empíricos desta tese tinham por intuito destacar a concepção de que o processo de apreensão da realidade perpassa pela produção de representações simplificadas dos eventos físicos que nos permitem melhor compreendê-los. Após a execução do primeiro estudo exploratório decidimos adotar a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud como referencial teórico de aprendizagem. Os motivos que nos levaram a tal decisão serão apresentados ao final do quinto capítulo, quando relatarmos os resultados do primeiro estudo dessa investigação. Os principais conceitos propostos por Vergnaud são apresentados na próxima seção.

3.3 Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud

Com a Teoria dos Campos Conceituais, Gerard Vergnaud apresenta uma teoria psicológica da conceitualização do real (VERGNAUD, 1993). Aluno de Jean Piaget, o autor adota uma postura construtivista, valendo-se de aspectos importantes da teoria do seu mentor. Talvez o mais importante deles seja o conceito de *esquema*, o qual Vergnaud amplia incorporando conteúdo conceitual à sua base. O enfoque dado ao processo de adaptação e ao papel das ações e das representações também é uma herança do seu envolvimento com Piaget (VERGNAUD, 2009).

Como já mencionado, a preocupação primordial da Teoria dos Campos Conceituais é a conceitualização do real. Mas o que é um conceito? Como ocorre o processo de conceitualização? As respostas dessas questões passam pelo entendimento do significado de *esquema*. Esse conceito, que foi adotado por Piaget por influência das ideias de Immanuel Kant (VERGNAUD, 2009), é definido por Vergnaud como “*a organização invariante do comportamento para uma classe de situações dadas*” (VERGNAUD, 1998, p. 168). Essa organização exige um domínio conceitual específico que depende da situação enfrentada pelo indivíduo, ou seja, exige, por parte do sujeito, um conhecimento pautado em uma série de conceitos e teoremas. Desse modo, a conceitualização se desenvolve quando um sujeito enfrenta uma nova situação construindo novos esquemas de ação. Por isso, Vergnaud defende que o estudo do par esquema/situação é mais viável para descrever e analisar os comportamentos e representações utilizadas por sujeitos-em-ação do que o par sujeito/objeto de Piaget (VERGNAUD, 2009). No decorrer desta seção apresentaremos de forma mais detalhada o papel dos esquemas no processo de aprendizagem, assim como o das situações.

Vergnaud (1990, p. 143) destaca que Guy Brousseau modernizou o conceito de *situação* dando a ele um viés didático que não possuía na psicologia. Contudo, na Teoria dos Campos Conceituais, esse termo não é utilizado para descrever uma situação didática, mas sim para denotar

uma tarefa cuja execução requer do indivíduo um processo cognitivo. Desse modo, podemos discriminar classes de situações em que o sujeito: a) dispõe no seu repertório de competências necessárias ao tratamento relativamente imediato da situação; b) não dispõe de todas as competências necessárias, o que o obriga a um tempo de reflexão e exploração, a hesitações, a tentativas frustradas, levando-o ao sucesso ou ao fracasso (VERGNAUD, 1993). Cada uma dessas situações exige do indivíduo que a enfrenta processos cognitivos bastante distintos. No primeiro caso, que se refere às situações em que o indivíduo possui as competências necessárias para encarar o problema enfrentado, sua ação é bastante automatizada, regida por um único esquema. No segundo, uma sequência de tentativas que envolvem a disputa entre diferentes esquemas são processadas até o indivíduo possivelmente atingir uma solução para o seu problema (idem). Pode-se perceber, portanto, que o papel dos esquemas é fundamental nas duas classes de situações expostas, mas a segunda delas é mais propícia para o desenvolvimento de novos esquemas. Percebe-se também que o conceito de *adaptação* de Piaget sofre uma ressignificação com Vergnaud. Para ele, os esquemas se adaptam às situações, e disso decorre que o estudo do par esquema/situação é frutífero para investigações sobre a cognição humana (VERGNAUD, 2009).

Como vimos, o desenvolvimento do conhecimento de um sujeito depende das situações às quais ele foi confrontado e, conseqüentemente, dos esquemas construídos por ele quando as enfrenta. Desse modo, divergindo de Piaget, Vergnaud incorpora conhecimentos nos esquemas aos quais ele denomina *invariantes operatórios*. Esses conhecimentos são divididos em duas classes: a) *Conceitos-em-ação*: quando nos confrontamos com uma situação, selecionamos uma parte muito pequena das informações disponíveis na tarefa. Para realizarmos essa seleção, utilizamos o que Vergnaud denomina *conceitos-em-ação*, que são objetos, predicados ou categorias que são consideradas relevantes. b) *Teoremas-em-ação*: o enfrentamento da situação evoca em um indivíduo proposições que relacionam conceitos, objetos, predicados etc. Essas proposições podem ser verdadeiras ou falsas, apesar de serem tidas como verdadeiras pelo sujeito (VERGNAUD, 1996; 1998).

Os invariantes operatórios constituem apenas a componente epistêmica dos esquemas. Para que possibilitem a organização de uma ação frente a uma situação, os esquemas se valem de outros elementos importantes. A componente intencional envolve as antecipações das metas do esquema, das conseqüências esperadas e das suas eventuais etapas intermediárias. A componente geradora envolve as regras de ação do tipo “se... então...” que originam a atividade, ou seja, que possibilitam gerar as seqüências de ações. A componente computacional envolve possibilidades de inferência dos esquemas. Elas são essenciais para se entender que o pensamento é feito de uma intensa atividade de computação, mesmo em situações aparentemente simples. Essas atividades são amparadas por informações sobre a situação cuja seleção é norteadas por um conjunto de invariantes operatórios (VERGNAUD, 1993; 2009). Em suma, podemos afirmar que os esquemas são constituídos por: a) invariantes operatórios, b) metas e antecipações, c) regras de ação, e d) possibilidades de inferências.

O conhecimento contido nos esquemas pode apresentar condições bastante distintas. Quando explícito, ele pode ser compartilhado e debatido. Nesse caso, a invariância do conhecimento é mais evidente; os conceitos e os teoremas são estruturados em categorias e proposições. Além disso, na medida em que se torna explícito, um invariante operatório pode se tornar progressivamente um conceito ou teorema científico, o que acaba por ampliar significativamente sua relevância e validade. Nesse processo, o papel das expressões linguísticas e simbólicas é fundamental (VERGNAUD, 1993).

A transformação de um conhecimento em palavras ou proposições não é fácil. Tal tarefa exige o domínio da linguagem natural e de diversos outros sistemas semióticos que não expressam exatamente o que cada indivíduo tem em sua mente quando enfrenta uma situação. Decorrem disso diferenças entre o que é representado na mente de um sujeito-em-ação e o significado usual das palavras e das proposições. Apenas uma pequena parte de um conhecimento pode se tornar explícita (idem). Destacando isso, Vergnaud argumenta que demonstramos nossos conhecimentos tanto pelo que dizemos como pelo que fazemos em situação. Em outras palavras, o autor procura distinguir os conhecimentos *predicativos* dos *operatórios*. Essa distinção pode ser ilustrada pelo caso em que um mecânico procura ensinar para um de seus funcionários como ele pode realizar o conserto em um motor automotivo. Ainda que o mecânico procure explicitar de forma muito minuciosa e precisa os conhecimentos que julga ser necessários para que seu funcionário realize o conserto do motor, é possível que o seu aluno, quando defrontado com a tarefa para a qual o mecânico o preparou, fracasse rotundamente. Tal evento pode ocorrer porque o mecânico só é capaz de explicitar a forma predicativa do seu conhecimento. A discrepância entre a competência do mecânico para realizar o conserto desejado e o que ele é capaz de dizer sobre essa situação ao seu funcionário mostra que a forma operatória do conhecimento é mais rica que a predicativa (VERGNAUD, 2013b).

As *representações* que um indivíduo constrói em sua mente podem se referir a situações ou a objetos da realidade. Enquanto as ações e os esquemas necessariamente se referem a situações, a forma predicativa do conhecimento privilegia os objetos, suas propriedades, relações e transformações. São os invariantes operatórios que fazem a conexão entre os conhecimentos-em-ação contidos nos esquemas e os conhecimentos-em-texto contidos nas proposições explícitas (VERGNAUD, 1993).

Os esquemas amparam-se em representações. Nesse processo, pode-se perceber o importante papel cumprido pelas representações da linguagem. Elas desempenham uma função tríplice, podendo representar os elementos pertinentes à situação, às ações, ou às relações entre as ações e as situações. Essas representações podem ser simbólicas, formando um conjunto de formas que podem representar simbolicamente um conceito, uma propriedade, situações e procedimentos (VERGNAUD, 1993).

Vergnaud destaca que os *conceitos* não podem ser reduzidos às suas definições, ao menos quando estamos interessados em ensiná-los. Para entendermos tal afirmação, devemos lembrar que o desenvolvimento de novos esquemas depende das situações que um indivíduo enfrenta. Como já vimos, um dos componentes desses esquemas são os invariantes operatórios que são formados por

conceitos-em-ação e teoremas-em-ação. Esses invariantes não são genuinamente conceitos e teoremas, pois, em ciência, um conceito ou teorema deve ser explícito, possibilitando a discussão de sua pertinência. Isso não necessariamente ocorre com invariantes operatórios, pois, na maioria dos casos, muito do que está contido nos esquemas é implícito. Um conceito, portanto, deve ter sua operacionalidade experimentada em diferentes situações para que as suas diferentes propriedades que são próprias de cada uma delas sejam conceitualizadas. Pode-se perceber, portanto, que a definição pragmática de um conceito envolve o conjunto de situações que constituem a referência de suas diversas propriedades e o conjunto de esquemas utilizados nessas situações. No entanto, o uso de representações simbólicas explícitas é também fundamental no processo de conceitualização. Isso leva Vergnaud a considerar um conceito como um tripé formado por: a) situações; b) invariantes operatórios contidos nos esquemas utilizados frente a essas situações; e c) representações simbólicas que permitem representar o conceito, suas propriedades, situações e procedimentos (idem). Os invariantes operatórios constituem os significados de um conceito; as representações simbólicas, os significantes (VERGNAUD, 1996).

Uma única situação ou um único simbolismo particular não provocam o uso de todos os invariantes operatórios relacionados com um determinado conceito. Desse modo, o sentido dos conceitos não pode ser resumido à sua função em uma particular situação. O sentido é uma relação entre sujeito, situações e significantes. As situações dão sentido aos conceitos. Os esquemas evocados por uma determinada situação ou representação simbólica constituem o sentido dessa situação ou desse significante (idem).

Nesse ponto, já somos capazes de compreender o que Vergnaud entende por *campo conceitual*. Para o autor, tal conceito se refere à forma como o conhecimento se organiza, ou seja, em conjuntos de situações e conceitos denominados por ele de campos conceituais (VERGNAUD, 2009). O conjunto das situações que requerem uma adição, uma subtração ou uma combinação de ambas as operações, por exemplo, constitui o campo conceitual das estruturas aditivas (VERGNAUD, 1993). Cabe ressaltar, no entanto, que o enfrentamento de uma situação demanda um conjunto de conceitos que, por sua vez, demandam o domínio de uma série de teoremas e representações simbólicas. Em outras palavras, o enfrentamento de uma situação envolve uma série de invariantes operatórios relacionados com uma série de esquemas. Desse modo, os campos conceituais podem ser entendidos também como conjuntos entrelaçados de situações, conceitos, teoremas, representações simbólicas, invariantes operatórios e esquemas.

O objetivo de Vergnaud ao cunhar o conceito de campo conceitual é instituir subcampos para a experiência de um indivíduo em torno das ideias de situação e de conceito. A evolução das competências de um sujeito para enfrentar cada vez mais situações de um campo conceitual, valendo-se de conceitos pertinentes para ela, é um processo progressivo, lento, e talvez interminável. Vergnaud exemplifica citando o campo conceitual das estruturas aditivas. O desenvolvimento desse campo começa aos 3 ou 4 anos e prossegue até o final do Ensino Médio. No entanto, muitos adultos falham ao enfrentar situações organizadas nesse campo conceitual (VERGNAUD, 2013b).

A partir do Estudo 2 desta tese, adotamos a Teoria dos Campos Conceituais como referencial teórico de ensino-aprendizagem. De modo mais específico, assumimos a concepção de que a modelagem científica constitui um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física. Para isso, nos amparamos na Modelagem Didático-Científica Reflexiva, que é um referencial teórico-metodológico embasado na teoria de Vergnaud. Os aspectos mais importantes dessa construção teórica que relaciona a modelagem científica de Bunge com as ideias de Vergnaud são expostos na próxima seção.

3.4 Modelagem Didático-Científica Reflexiva de Brandão, Araujo e Veit

Partindo do pressuposto de que a modelagem científica constitui um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física, a Modelagem Didático-Científica Reflexiva pode ser entendida como um ensaio teórico que estabelece um vínculo entre a concepção do processo de modelagem científica de Bunge e a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. No entanto, existem pesquisadores que, em função de Bunge e Vergnaud adotarem posturas realistas e construtivistas, respectivamente, julgam que essa combinação teórica não é compatível. Frente a isso, é pertinente que comecemos essa seção com uma reflexão contrapondo as concepções realistas e construtivistas. Essa reflexão é apresentada na próxima seção.

3.4.1 Realismo e construtivismo: complementares ou excludentes?

Diversos autores debatem sobre contrapontos existentes entre concepções construtivistas e realistas (e. g., COLE, 1997; KARAKOSTAS & HADZIDAKI, 2005; STAYER, 2012). As supostas diferenças entre as formas como construtivistas e realistas pensam sobre a origem do conhecimento é a principal dissonância destacada nesses trabalhos. Para Kant, autor idealista reconhecido como precursor do construtivismo, o conhecimento sensível não nos revela as coisas como são, mas sim como elas transparecem para nós. Desse ponto de vista, não há sentido em se falar em realidade independente da cognição; são as construções teóricas que definem a realidade, e a validade das teorias é estabelecida em termos da coerência delas com o paradigma vigente (COLE, 1997). Por outro lado, os realistas defendem a existência de uma realidade objetiva, e que o conhecimento científico, em maior ou menor nível, representa essa realidade. Portanto, as proposições teóricas são válidas na medida em que são adequadas para descreverem eventos do mundo real ou suposto como tal (idem). Com essas informações em mente, autores argumentam que perspectivas realistas e construtivistas são inconciliáveis, pois adotam diferentes concepções da realidade. A posição adotada nesta tese, no entanto, vai de encontro a essa concepção. Valendo-nos das ideias de Castañon (2007), argumentamos que construtivistas e realistas não partilham dos mesmos objetos de estudo e que suas ideias podem ser entendidas como complementares.

Para Castañon (2007), a posição dos autores que colocam construtivismo e realismo em posições antagônicas tem origem em dois equívocos principais. O primeiro deles está relacionado com o tratamento que alguns autores dão aos termos construtivismo e idealismo. É comum que eles

sejam tratados como sinônimos. No entanto, o enfoque construtivista sugere que a construção do conhecimento exige uma interação necessária entre o sujeito que conhece e o objeto conhecido, ou seja, está preocupado com uma explicação de *como obtemos conhecimento*; o idealismo, por sua vez, propõe que não existe sentido em se discutir uma realidade independente da cognição, ou seja, como o realismo, procura explicar *a natureza daquilo que conhecemos*. Portanto, a postura construtivista não implica em uma concepção idealista.

A segunda confusão que leva autores a entenderem construtivismo e realismo como posturas excludentes envolve as definições atribuídas aos termos objetivismo e realismo (idem). O construtivismo rejeita o objetivismo, o que faz com que autores concluam que ele rejeite também o realismo. No entanto, o objetivismo é apenas um caso particular de realismo que defende que os objetos determinam em nós a representação que temos deles, ou seja, que as representações que temos do mundo, mesmo que não sejam idênticas a ele, são determinadas em nós pelos objetos que buscamos conhecer (ibid). O realismo, no entanto, defende apenas que nossas representações se referem a objetos que têm existência independente de nossa mente, o que não implica em objetivismo. Aliás, a concepção objetivista do realismo é entendida hoje como uma concepção ultrapassada. Desde Karl Popper, por meio da sua proposta de realismo crítico, os realistas assumem que nossas teorias sobre a realidade são construídas por nós, e condicionam, porém não determinam, o nosso olhar e interpretação sobre ela (ibid).

Frente aos esclarecimentos apresentados por Castañon (2007), fica evidente que é plausível que um indivíduo entenda que o conhecimento é construído por meio da ação do sujeito no mundo cuja realidade é objetiva, ou seja, independente da mente de quem a manipula. Tal postura pode ser detectada inclusive nas ideias de Piaget. O processo de acomodação, por exemplo, ocorre na medida em que as expectativas e explicações dos esquemas são contrastadas com eventos reais (ibid). Outras evidências das concepções realistas de Piaget podem ser observadas no seguinte trecho de uma entrevista concedida à Jean-Claude Bringuier (1978, p. 90-91).

Jean-Claude Bringuier – *Eu tenho vontade de perguntar, mas pode parecer muito trivial, muito simples. O que é verdade? Eu quero dizer, o que os objetos possuem realmente? Quais as propriedades que lhe são atribuídas?*

Jean Piaget – *O objeto é um limite no sentido matemático, a gente se aproxima continuamente da objetividade, não se alcança jamais o próprio objeto. O objeto que se crê alcançar é sempre o objeto representado e interpretado pela inteligência do indivíduo.*

Jean-Claude Bringuier – *É idealismo isto?*

Jean Piaget – *Não, porque o objeto existe. O objeto existe, mas você não descobre as propriedades dele a não ser por aproximações sucessivas. É o contrário do idealismo. Você se aproxima dele continuamente, mas você não o atinge nunca porque, para o atingir, é preciso, sem dúvida, uma infinidade de propriedades das quais um número muito grande lhe escapa.*

É de tal modo escasso o idealismo, que eu vou lhe contar uma pequena história. Nós tínhamos convidado, uma vez, uma especialista de matemática, de epistemologia da matemática, da Berlin Oriental. Pois bem, ela me disse que, para vir à Genebra e obter o visto teve necessidade de provar que tinha sido convidada por um materialista. Então, eu lhe disse: “Ah, muito bem, e quem é o materialista que você encontrou em Genebra?” Ela me disse: “Você!” Então manifestei alguma surpresa.

Jean-Claude Bringuier – *Veja, bem, o senhor manifestou alguma surpresa.*

Jean Piaget – Espere. Eu disse: “Eu, materialista?” “Mas certamente você acredita, como eu, que o objeto existe e você acredita, como eu, que não o alcançamos jamais, porque ele não é senão um limite matemático.” E eu lhe disse: “Sim, sim, então materialismo, se é isto, estou de acordo.”

Jean-Claude Bringuier – Mas apesar de tudo o senhor estava surpreso?

Jean Piaget – De quê?

Jean-Claude Bringuier – Por ela tachá-lo de materialista.

Jean Piaget – Quando se fala de materialismo sem precisar, isto tem um ar de ser materialismo ingênuo e que quer que o conhecimento não seja senão uma cópia da realidade. Mas, para ela, como para mim, é tudo ao contrário de uma cópia da realidade. É uma reconstituição da realidade pelos conceitos do indivíduo que, por esforços progressivos e toda sorte de sondagens experimentais, se aproxima do objeto, mas sem atingi-lo completamente.

Desse trecho, pode-se concluir que Piaget entende que os objetos existem de forma independente da mente de quem o conhece e que qualquer conhecimento sobre esses objetos é constituído apenas por uma representação simplificada que não abrange todas as propriedades dele. Essas ideias são tipicamente realistas. Assim como Piaget, que é um construtivista, se mostra realista quando discute sobre a natureza da realidade, Bunge, que é um realista, apresenta ideias que vão ao encontro das defendidas por construtivistas quando discorre sobre a construção do conhecimento (BUNGE, 1998, p. 160):

Em resumo, quase todos os cientistas admitem, explícita ou implicitamente, que as teorias e seus constituintes são construídos, mas somente os subjetivistas sustentam que também os fatos em si são construídos. Dito de modo mais breve: o construtivismo gnosiológico é correto, mas o ontológico é falso.

Percebendo afinidades importantes entre as ideias de Bunge, que, como já ressaltado, é um epistemólogo realista, e de Vergnaud, que, assim como o seu mentor, Piaget, é construtivista, Brandão, Araujo e Veit (2012) propuseram um referencial teórico-metodológico denominado Modelagem Didático-Científica Reflexiva. Essa estratégia, que amparou os Estudos Empíricos 2 e 3 e o Estudo Teórico desta tese, é apresentada na próxima seção.

3.4.2 A modelagem científica entendida como um campo conceitual

Amparado na Teoria dos Campos Conceituais, de Gerard Vergnaud, e na concepção epistemológica de Mario Bunge, o referencial teórico-metodológico denominado Modelagem Didático-Científica Reflexiva tem como pressuposto básico a concepção de que a modelagem científica pode ser entendida como um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física. Seu objetivo é “favorecer o desenvolvimento de concepções e competências associadas à natureza, à construção, à validação, à exploração e à revisão de modelos didático-científicos” (BRANDÃO, 2012). Nesse contexto, a expressão “modelo didático-científico” é usada para designar versões didáticas de modelos científicos. Desse modo, a modelagem didático-científica pode ser compreendida como “um instrumento teórico-metodológico que orienta as ações do sujeito-em-situação quando ele, de alguma forma, precisa modelar situações físicas no contexto educacional” (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2012). O adjetivo “reflexiva” é inserido no título da proposta para enfatizar que o desenvolvimento do campo conceitual da modelagem científica “pode ocorrer por meio da tomada de consciência e

As relações estabelecidas na Figura 3.5 são inspiradas pelas ideias de Bunge. Por exemplo, Bunge argumenta que as teorias gerais não compreendem enunciados sobre eventos específicos. Como reflexo dessa concepção, os conceitos “teoria geral” e “referentes” são vinculados na Figura 3.5 pelo conector “não se pronuncia diretamente sobre os”. Esses conceitos, por sua vez, são usados na Modelagem Didático-Científica Reflexiva para se estabelecer o campo conceitual da modelagem didático-científica da Física. Ele é constituído por três conjuntos (idem):

- i) um conjunto de situações físicas que dão sentido aos conceitos associados às noções sobre modelos e modelagem científica em Física, ou seja, o conjunto de situações que podem ser analisadas e solucionadas por meio da construção e/ou exploração de uma versão, com maior ou menor valor didático, de um modelo científico, capaz de aproximar teoria e realidade, e de dar sentido às dificuldades observadas no processo de conceitualização do real no contexto da Física;*
- ii) um conjunto de invariantes operatórios de: a) caráter geral, associados à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física, e b) caráter específico, associados aos conceitos da estrutura conceitual de referência, que podem ser reconhecidos e usados pelo sujeito para analisar as situações do primeiro conjunto, denominadas situações de modelagem em Física; e*
- iii) um conjunto de representações simbólicas que podem ser usadas para indicar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos de modelagem para lidar com elas; esse conjunto é fortemente dependente do campo conceitual específico da Física em que o sujeito esteja modelando.*

Os autores apresentam, ainda, exemplos de invariantes operatórios de caráter geral associados aos conceitos de modelo e modelagem científica e exemplos de invariantes operatórios específicos associados a cada conceito da estrutura conceitual de referência apresentada na Figura 3.5. Esses invariantes operatórios, expostos no Quadro 3.4, são apresentados como exemplos de conhecimentos relacionados ao campo conceitual da modelagem didático-científica que podem e devem ser mobilizados pelo sujeito-em-situação de modelagem, com o intuito de reconhecer os elementos pertinentes à situação a ser representada. Desse modo, indo ao encontro das ideias de Vergnaud, eles constituem a base conceitual, implícita ou explícita, que permite selecionar as informações relevantes, definir metas e antecipações, assim como regras de ação adequadas durante o processo de modelagem (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2012).

Brandão (2012) argumenta que o campo conceitual da modelagem didático-científica pode ser entendido como o conjunto de atividades no ensino de Física que visam à criação e/ou à exploração de versões didáticas de modelos científicos construídos pelos físicos. Tais atividades podem envolver modelagem computacional, enfatizando o papel mediador dos modelos entre teoria e simulação, modelagem em laboratório de ensino, enfatizando o papel mediador dos modelos entre teoria e experimento, e modelagem computacional-experimental, enfatizando o papel mediador dos modelos entre simulação e experimento acerca de sistemas, processos e fenômenos físicos. Essas atividades devem propiciar aos estudantes situações que deem sentido às formas predicativa e operatória do conhecimento nos diversos campos conceituais específicos da Física.

Quadro 3.4 – Exemplos de invariantes operatórios gerais e específicos (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2012, p. 278-279).

Conceito	Invariante Operatório de Referência
Modelo e Modelagem	Formular questões sobre uma situação física a serem respondidas pela construção e/ou exploração de um modelo científico.
	Decidir que tipo de representação construir para responder à(s) questão(ões) formulada(s).
	Representar a situação física de modo esquemático e à luz de algum campo conceitual específico da Física.
	Analisar a razoabilidade dos resultados obtidos com a versão do modelo científico construído e/ou explorado por meio da busca de suportes empíricos e/ou racionais.
Referente	Delimitar objetos e eventos reais, ou supostos como tais, que compõem o sistema físico e sua vizinhança e que serão alvo de representação.
Idealização	Dado um sistema físico, decidir quais dos seus traços-chave apreender.
Aproximação	Dado um sistema físico previamente idealizado, decidir quais simplificações matemáticas serão assumidas, tais como: desprezar efeitos que são pequenos, considerar relações lineares, desprezar ruídos etc.
Variáveis/Parâmetros	Identificar quais variáveis/parâmetros são necessárias para representar o sistema físico e quais delas podem assumir valores numéricos contínuos e quais discretos.
Domínio de Validade	Identificar situações em que os resultados teóricos fornecidos pelo modelo não coincidem com o comportamento do sistema físico dentro de uma margem de erro tolerável.
Grau de Precisão	Dada uma idealização/aproximação, avaliar qualitativa e/ou quantitativamente a incerteza introduzida por ela nas predições do modelo em comparação com resultados experimentais ou teóricos.
Expansão	Incluir novos referentes, variáveis, parâmetros, relações e conceitos físicos a fim de obter resultados mais precisos e/ou melhor interpretáveis com o modelo.
Generalização	Dado um modelo conceitual e/ou matemático, verificar se ele pode ser útil para representar outros sistemas físicos distintos daquele para o qual foi concebido.

A principal implicação didática da estratégia da Modelagem Didático-Científica Reflexiva, segundo Brandão (idem), reside na questão das situações que costumam ser trabalhadas em sala de aula. As situações que envolvem o enunciado de problemas altamente idealizados, que são tão comuns nas salas de aula de Física, são frequentemente enfrentadas de forma excessivamente formal, estimulando o uso de um conjunto de esquemas por parte dos estudantes que só tem sentido no contexto escolar. A Modelagem Didático-Científica Reflexiva sugere que as situações abordadas nas aulas de Física envolvam problemas menos idealizados, propiciando que o aprendiz dê sentido a conceitos indispensáveis para a modelagem-científica, como o de idealização.

Ainda que Brandão (idem) destaque que o campo conceitual da modelagem didático-científica abrange atividades experimentais que enfatizam o papel mediador dos modelos entre teorias e experimentos, não estava em seus objetivos pormenorizar os esquemas de ação utilizados pelos

estudantes quando defrontados com as situações relacionadas com o trabalho experimental. O enfoque da Modelagem Didático-Científica Reflexiva é o processo de modelagem científica no ensino de Física em um âmbito geral, e não a análise das especificidades dos diferentes tipos de atividades que podem envolver a modelagem de eventos reais em aulas de Física.

Para aprofundar a concepção do campo conceitual da modelagem didático-científica proposta por Brandão, Araujo e Veit com a Modelagem Didático-Científica Reflexiva, realizamos no Capítulo 7 desta tese uma ampliação da estrutura conceitual de referência exposta na Figura 3.5 incluindo os principais conceitos relacionados com a modelagem de eventos reais especificamente vinculados com o processo de contrastação empírica das ideias científicas. Partindo disso, aos moldes do que é apresentado no Quadro 3.4, estabelecemos doze novos invariantes operatórios de referência para o campo conceitual da modelagem didático-científica associados com os conceitos incorporados à estrutura conceitual de referência, ou seja, aos conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica próprios do trabalho experimental.

4. Metodologia de Pesquisa

O objetivo primordial desta tese, como argumentamos na sua introdução, é investigar formas de promover atividades experimentais ressignificadas por meio do enfoque no processo de modelagem científica, suscitando a vinculação de teoria e prática no ensino de Física. Procurando defrontar os estudantes com atividades experimentais que demandem reflexão e tomada de decisões na resolução de problemas que envolvam a modelagem de eventos físicos, decidimos conduzir atividades com caráter aberto. Na classificação de Tamir (1991 *apud* BORGES, 2002; veja no Capítulo 2), nossas atividades podem ser classificadas no nível 2, ou seja, são atividades em que são atribuídas aos estudantes as tarefas de delinear procedimentos experimentais, de executar esses procedimentos e de apresentar conclusões sobre um problema estabelecido pelo professor. Nesse tipo de atividade, as ações dos alunos são bastante imprevisíveis, e o trabalho transcorre em meio a sucessivos avanços e retrocessos que se concatenam e se sobrepõem, fazendo com que qualquer tentativa de representar o trabalho deles por meio de uma sequência de eventos isolados seja muito superficial quando comparada com a complexidade dos acontecimentos que ocorrem. Entendendo que a metodologia de estudos de caso é uma boa alternativa para conduzir pesquisas nesse tipo de contexto, em que os eventos são indissociáveis do todo e são influenciados por fatores imprevisíveis, adotamos nesta tese as orientações metodológicas de Robert Yin (2005, 2011). Tal autor define um estudo de caso como “uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites do fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”¹⁶ (YIN, 2005, p. 32). Nos estudos realizados, os fenômenos investigados foram as ações dos estudantes quando enfrentavam os problemas propostos, e, como foi argumentado, em função dessas ações se sobrepõem, seus limites são pouco claros. Desse modo, os estudos que pretendíamos realizar tinham características que tornavam a metodologia de estudos de caso de Yin (*idem*) adequada para norteá-los. Nas próximas seções, detalharemos a metodologia de pesquisa que norteou os estudos empíricos desta tese, ressaltando como as orientações de Yin influenciaram os procedimentos de investigação realizados.

4.1 Concepção de Estudo de Caso de Robert Yin

Para Yin, um estudo de caso é ideal para investigações que apresentam questões do tipo “como?” e “por quê?”, e que focalizam em acontecimentos contemporâneos sem a exigência de controle sobre os eventos comportamentais (YIN, 2005). Esses estudos, segundo o autor, podem ser de três tipos: exploratórios, descritivos ou explanatórios. Por estudo de caso exploratório entende-se a investigação que busca um levantamento de hipóteses e proposições pertinentes para pesquisas futuras. Já os estudos de caso descritivos têm por objetivo descrever um evento contemporâneo focado na conjuntura na qual ele ocorreu (*idem*). Por fim, os estudos de caso explanatórios lidam com

¹⁶ Um aspecto importante da concepção de Yin para estudos de caso refere-se ao tempo necessário para a realização de uma investigação. Diferentemente da posição de outros autores (e. g. STAKE, 1999), ele afirma que uma pesquisa que explore tal estratégia não necessariamente precisa ser realizada em um extenso intervalo de tempo. Para Yin, somente estudos etnográficos ou métodos de observação participante necessitam de um longo período de estudo (YIN, 2005).

ligações operacionais que necessitam serem traçadas ao longo do tempo baseadas nas proposições do estudo. A Figura 4.1 resume os três tipos de estudo de caso propostos por Yin.

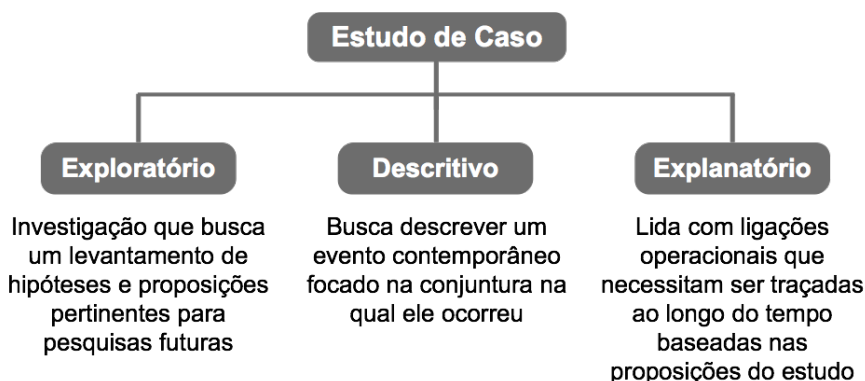


Figura 4.1 – Os tipos de estudos de caso propostos por Yin (2005).

Yin diferencia ainda os estudos de caso em termos: i) do número de casos investigados, distinguindo estudos de caso único de estudos de casos múltiplos; e ii) do número de unidades de análise dos casos, caracterizando estudos holísticos ou incorporados. Em relação ao número de casos, Yin ressalta que o uso de casos múltiplos é uma forma de maximizar a validade externa da investigação e sugere que, quando possível, o pesquisador se valha de mais de um caso¹⁷ (YIN, 2005). A lógica desse tipo de estudo é a mesma usada quando experimentos são replicados em diferentes contextos. Já em relação ao número de unidades de análise dos estudos de caso, Yin destaca que mesmo um estudo de caso único pode envolver mais de uma unidade de análise quando, dentro desse caso, o pesquisador dá atenção a uma subunidade ou a várias subunidades. A Figura 4.2 representa os diferentes tipos de estudo de caso segundo Yin.

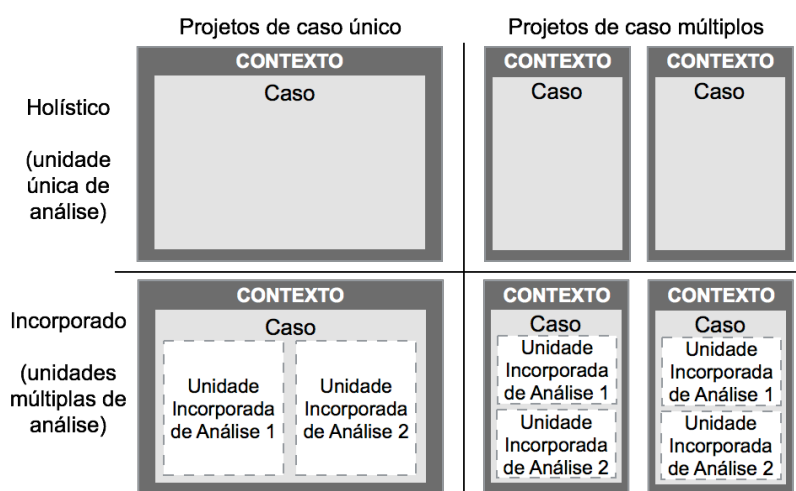


Figura 4.2 – Caracterização dos estudos de caso segundo Yin (2005, p. 61). Os estudos se diferenciam em termos do número de casos estudados e de unidades de análise.

¹⁷ Yin destaca ainda que os estudos de caso podem ser conduzidos e escritos por motivos diferentes, incluindo a simples apresentação de casos individuais ou o desejo de chegar a generalizações amplas baseadas em evidências de estudos múltiplos. Aos críticos que questionam como isso pode ocorrer a partir de um caso único, Yin responde que também não é possível a generalização a partir de um experimento único. A generalização ocorre partindo de estudos múltiplos que repetem o fenômeno sob diferentes condições. Com isso, ele explica que o caso não representa a "amostragem" e seu objetivo é generalizar teorias (generalização analítica) e não enumerar frequências (generalização estatística). Ainda assim, segundo o autor, o investigador deve estabelecer o domínio para o qual as descobertas de um estudo podem ser generalizadas.

Nesta tese, foram realizados três estudos de caso. Iniciamos realizando um estudo exploratório, que denominamos de Estudo 1, para levantarmos proposições pertinentes que foram avaliadas nos dois estudos explanatórios subsequentes, denominados Estudo 2 e Estudo 3. No que segue, detalharemos as características metodológicas desses estudos.

4.2 Contexto dos estudos

A escolha do caso investigado é um aspecto fundamental na metodologia de estudo de casos de Yin (idem). Segundo o autor, existem diversos fundamentos lógicos que justificam a escolha de diferentes casos para serem analisados. Procurando exemplificar, Yin expõe razões que amparam a escolha de cinco principais tipos de casos. São eles:

- i) *Casos decisivos*: Algumas teorias especificam um conjunto claro de proposições que são válidas em circunstâncias bem estabelecidas. Devem existir casos decisivos que satisfaçam essas condições para testar essas teorias, e esses casos têm potencial para serem investigados.
- ii) *Casos raros ou extremos*: Existem casos que apresentam singularidades que justificam a necessidade de documentá-los e investigá-los.
- iii) *Casos representativos ou típicos*: Um caso que representa um conjunto de casos é candidato a ser o objeto de estudo de uma investigação em função de que os resultados obtidos com ele poderão elucidar as características de outros casos semelhantes.
- iv) *Casos reveladores*: Muitas vezes pesquisadores se deparam com a oportunidade de observar e analisar um evento de difícil acesso. Em função disso, esses casos podem ter potencial para serem investigados.
- v) *Casos longitudinais*: Casos que podem ser analisados por um pesquisador ao longo de um grande intervalo de tempo têm potencial para serem investigados por revelarem possíveis mudanças que podem ocorrer com o tempo.

Evidencia-se nas ideias de Yin (idem), portanto, que o autor não compartilha da concepção de que estudos de caso obrigatoriamente precisam ser focados em casos críticos, que apresentam características especiais que justificam a investigação. O autor entende que existe uma multiplicidade de fundamentos lógicos que sustentam a escolha de casos. Nesta tese, a escolha dos casos investigados nos três estudos empíricos foi amparada na justificativa de que desejávamos analisar casos típicos ou representativos.

Optamos por realizar as investigações empíricas desta tese com turmas da disciplina “Física Experimental II – A”, que faz parte do segundo semestre da grade curricular de todas as ênfases do curso de Física (Astrofísica, Física Computacional, Materiais e Nanotecnologia, Pesquisa Básica e Licenciatura). Essa escolha foi balizada por três motivos: i) desejávamos conduzir os estudos com estudantes de Física pelo fato de eles tradicionalmente não adotarem uma concepção utilitarista dos conhecimentos abordados nas aulas experimentais, e por frequentemente demonstrarem interesse pelos fundamentos filosóficos da Ciência; ii) buscava-se comparar o uso da metodologia de ensino investigada em atividades sobre diferentes campos de Física, e a súmula da disciplina “Física

Experimental II – A” atende ao requisito de ser abrangente em termos dos conteúdos abordados, envolvendo tópicos sobre oscilações mecânicas, fluidos e termodinâmica; e iii) uma outra equipe de pesquisadores já trabalhava em modificações na estrutura e no conteúdo da disciplina “Física Experimental I – A”, enfocando tal curso no ensino de fundamentos de metrologia (LIMA JUNIOR et al., 2013), o que tornava natural realizar um trabalho de continuidade na disciplina “Física Experimental II – A”.

Optar por conduzir os estudos em turmas de uma disciplina experimental do curso de Física tornou-se uma opção vantajosa em função da quantidade de estudantes dessas turmas, que são pequenas, contando com, no máximo, 15 alunos, possibilitando um diagnóstico mais ágil e preciso do professor sobre eventuais problemas enfrentados na implementação da nova metodologia na disciplina. Dentre as possibilidades de turmas da disciplina “Física Experimental II – A” que poderiam ser escolhidas para o desenvolvimento dos estudos, optou-se por turmas matutinas, pois historicamente essas turmas contabilizam menor evasão. Na próxima seção, apresentaremos detalhadamente como os três estudos de caso realizados foram encadeados, assim como as principais características metodológicas desses estudos.

4.3 Encadeamento dos estudos

Na nomenclatura de Yin, o Estudo 1 pode ser denominado como um estudo de caso holístico exploratório em que o caso investigado é a turma matutina da disciplina “Física Experimental II-A” do semestre 2012/1. Nele, nossa primeira ação de pesquisa foi delinear, com base na concepção de Bunge sobre o processo de modelagem científica e na proposta de ciclos de modelagem de David Hestenes, atividades experimentais em que procurávamos enfatizar o processo de modelagem científica. Desejávamos defrontar os estudantes com situações que destacassem o papel dos modelos como mediadores entre eventos da realidade e conhecimentos científicos. Como elas acarretavam uma dinâmica bastante distinta do que usualmente era realizado nas aulas das disciplinas experimentais da UFRGS, tornava-se necessário um primeiro estudo que evidenciasse as principais vantagens e limitações da nova metodologia, e que familiarizasse o pesquisador com a condução das atividades planejadas. Foi procurando sanar tais necessidades que o primeiro estudo foi desenvolvido. Sendo um estudo de caso exploratório, o propósito central do Estudo 1 era, por meio de uma melhor compreensão da dinâmica de ensino implementada nas atividades, produzir questões e proposições teóricas para serem investigadas em estudos posteriores.

Antes de realizarmos os estudos empíricos, estabelecemos, seguindo as orientações de Yin (idem), as questões de pesquisa e as proposições teóricas a serem investigadas, bem como traçamos previamente as fontes de evidência que seriam utilizadas nos estudos e delinearíamos a lógica que uniria os dados coletados com as proposições teóricas das investigações. As questões de pesquisa, as proposições teóricas, e as fontes de evidências utilizadas para se responder a cada uma das questões de pesquisa do Estudo 1, por exemplo, serão detalhadas no Capítulo 5, assim como as proposições teóricas que foram geradas por meio da análise dos resultados obtidos nesse estudo.

Essas proposições foram investigadas no segundo estudo empírico, o que o caracteriza como um estudo explanatório.

Com o intuito de promover uma análise mais profunda do caso investigado, possibilitando uma avaliação transversal por meio da comparação entre diferentes unidades de investigação, optamos, no Estudo 2, por realizar um estudo incorporado, onde cada estudante do caso estudado – uma turma matutina da disciplina “Física Experimental II-A” do semestre 2013/1 – foi considerado uma unidade de análise. As questões de pesquisa, as proposições teóricas, as fontes de evidência e os resultados do Estudo 2 são apresentados no Capítulo 6.

Antes de realizarmos o Estudo 3, optamos por desenvolver um estudo teórico, que é apresentado no Capítulo 7, com o objetivo de esclarecer as particularidades do trabalho experimental sob o ponto de vista do campo conceitual da modelagem didático-científica. Mais especificamente, como foi mencionado na Introdução, procuramos esclarecer como os conceitos vinculados ao processo de contrastação empírica das ideias científicas se situam dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica. Como resultado desse estudo teórico, e com base nos resultados do Estudo 2, estabelecemos as proposições teóricas que seriam testadas no terceiro estudo empírico. Desse modo, assim como o Estudo 2, o Estudo 3 também foi explanatório. No entanto, nesse último optamos por investigar duas turmas de “Física Experimental II – A”, constituindo dois casos na pesquisa.

Em outras palavras, o Estudo 3 é um estudo incorporado de casos múltiplos em que cada uma das turmas matutinas da disciplina “Física Experimental II-A” do semestre 2014/1 constitui um caso do estudo. As unidades de análise do Estudo 3 são os grupos de estudantes que trabalharam conjuntamente durante as atividades da disciplina. Optamos por tal delineamento para aprofundar a investigação agregando ao estudo a contrastação de casos e contextos que não esteve presente nos dois primeiros estudos empíricos. As questões de pesquisa, as fontes de evidência, as proposições teóricas e os resultados do terceiro estudo de caso são detalhados no Capítulo 8.

Pode-se identificar na investigação desenvolvida um encadeamento claro entre os estudos realizados. Cada estudo subsequente era alimentado pelos resultados dos estudos anteriores. Procurando enfatizar o eixo investigativo constituído, a Figura 4.3 apresenta os principais objetivos dos estudos desenvolvidos.

Yin propõe ainda que o desenvolvimento de um projeto de pesquisa deve ser realizado focado na maximização de quatro condições relacionadas à qualidade do mesmo (idem): validade do construto, validade interna, validade externa e confiabilidade. Para isso, Yin propõe três princípios básicos para a coleta de dados (idem):

- a utilização de várias fontes de evidências, e não apenas uma;
- a criação de um banco de dados para o estudo de caso;
- a manutenção de um encadeamento de evidências.

Estudo 1	Estudo 2	Estudo Teórico	Estudo 3
Estudo de caso único holístico exploratório: Familiarização do pesquisador com o novo enfoque e a nova metodologia das atividades, e levantamento de proposições e questões pertinentes para os estudos futuros	Estudo de caso único incorporado explanatório: Avaliação de proposições construídas com base nos resultados do primeiro estudo	Estabelecimento do trabalho experimental dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica, aprofundando o referencial teórico utilizado no segundo estudo	Estudo de casos múltiplos incorporado explanatório: Avaliação de proposições levantadas com base nos resultados do segundo estudo e no estudo teórico.

Figura 4.3 – Encadeamento dos estudos realizados na tese. Cada estudo foi utilizado para alimentar o estudo subsequente com proposições norteadoras.

Procurando adotar o primeiro dos princípios de Yin, em todos os estudos empíricos foram coletados dados por meio de questionários, relatórios redigidos pelos estudantes, filmagens e gravações em áudio de entrevistas, ou seja, por meio de múltiplas fontes de evidência. Para facilitar o encadeamento entre as evidências dos estudos, realizamos uma série de transformações com os dados coletados. Os dados quantitativos coletados por meio de questionários foram organizados em tabelas e gráficos. A atitude dos estudantes frente a atividades experimentais, por exemplo, foi compilada com base no nível de concordância dos participantes com oito afirmativas expostas em um dos questionários respondidos por eles. Já os relatórios de atividades redigidos pelos estudantes nos estudos 2 e 3 foram analisados por meio de protocolos de avaliação possibilitando uma análise global da evolução dos estudantes no decorrer das atividades. Detalhes sobre essas transformações serão apresentados no decorrer dos capítulos 5, 6 e 8. Por fim, como ferramenta analítica para amparar a construção de evidências com base nos dados qualitativos coletados nos estudos, usamos as orientações metodológicas de Yin para a análise de dados qualitativos. Na próxima seção, detalhamos essas orientações e as vinculamos com o trabalho desenvolvido durante as análises realizadas.

4.3 Análise de dados qualitativos

Seguindo as orientações de Yin (2011), a análise de todos os dados qualitativos coletados foi conduzida em cinco distintas etapas: *compilação*, *desagrupamento*, *reagrupamento*, *interpretação*, e *conclusão*. A etapa de *compilação* de dados se caracteriza pela organização das notas de campo, que foram acumuladas a partir do trabalho de campo, em conjuntos que facilitam a análise dos dados. Em outras palavras, a compilação nada mais é do que a sistematização dos dados de modo a otimizar e facilitar o trabalho do investigador. Vejamos um exemplo de análise realizada. Nos três estudos empíricos, foram investigadas as concepções dos estudantes sobre os conceitos de teoria e de modelo. Com tal fim, foram usadas diversas fontes de evidência que serão detalhadas nos capítulos 5, 6 e 8. No Estudo 3, por exemplo, foi solicitado que os estudantes explicitassem suas concepções durante entrevistas semiestruturadas conduzidas ao final da disciplina por meio da

seguinte proposição: “Fale o que você entende por modelo e por teoria”. As respostas de todos os estudantes para essa solicitação foram então organizadas e compiladas com outros dados coletados por meio de outras fontes de evidência com a finalidade de propiciar o acesso rápido e ágil do pesquisador aos diversos enunciados que evidenciam diferentes concepções sobre modelos e teorias. Desse modo, busca-se facilitar o processo de *desagrupamento* e *reagrupamento* que é posteriormente realizado com os dados. O produto da compilação pode ser considerado então o banco de dados da pesquisa.

Procurando exemplificar as quatro etapas da análise de dados subsequentes à compilação, usaremos as transcrições resumidas abaixo que ilustram uma pequena parte da compilação dos dados coletados em entrevistas realizadas ao final da disciplina conduzida no Estudo 3.

Estudante 12: *Então ela [a teoria] é geral porque ela explica coisas aparentemente diversas, e ela é valorosa porque ela consegue ser específica em sua generalidade. E o modelo seria uma utilização da teoria. [...] Isso para mim é um modelo: é uma utilização da teoria.*

Estudante 15: *A teoria, assim, né? É um estudo sobre fenômenos. [...] E o modelo seria a união dessas teorias.*

Estudante 17: *Eu acho que o modelo é aquela coisa, que nem eu disse, é aquele específico. É um caso específico. É uma coisa que tu tira um, bota outro... Mas tu tira e bota como? Trabalhando com teorias. Com coisas gerais. Mas nesse geral todo, tu vai pegando um geralzinho ali, um geralzinho lá. Aí tu vê se vai dar certo. Se para ti deu certo, beleza. Tu tem um modelo. Mas se deu certo para todos, tu tem uma teoria.*

Estudante 16: *Um modelo se resume em simplicidade. [...] É que nem ele falou. Tem muita coisa acontecendo ao mesmo tempo. Daí como é que tu vai conseguir explicar isso que está acontecendo? Aí tu ignora todo o resto, foca só naquilo ali que tu quer trabalhar, daí tu está simplificando.*

Estudante 12: *A teoria é uma coisa geral e o modelo é uma coisa simplificada.*

Estudante 11: *O que todos os modelos teriam é que, afinal, eles devem priorizar a aplicação. A aplicação experimental ou computacional. E o que todos eles têm em comum, é que nenhum está certo 100%, porque não considera...*

Pesquisador: *O que tu entende por ‘certo’?*

Estudante 11: *100% correto. Não considera tudo aquilo que realmente acontece.*

Estudante 9: *Preciso?*

Estudante 10: *É. Eu acho que trocaria por preciso. Eu acho que eles não são 100% precisos, mas eles explicam muito bem um fenômeno.*

Estudante 11: *Tá. Dá para por assim, então. [...] [Teoria] Tem que ser a descrição completa. Não pode ter simplificação. Ou é a tentativa completa da descrição.*

A fase de *desagrupamento* consiste na quebra dos dados compilados em fragmentos menores. Tal procedimento pode (mas não precisa) ser acompanhado da atribuição de rótulos para os fragmentos. É durante o *reagrupamento* que os fragmentos produzidos são rearranjados em grupos de dados, ou seja, são categorizados. O Quadro 4.1 ilustra o produto do processo de *desagrupamento* e de *reagrupamento* das transcrições exemplificados acima.

Yin (idem) destaca que os processos de *desagrupamento* e de *reagrupamento* podem ser repetidos muitas vezes como parte de um processo de tentativa e erro, pois o sucesso do pesquisador nessa fase depende intimamente da fase de reagrupamento. Yin (idem) ressalta ainda que os rearranjos e as recombinações podem ser facilitadas por representações gráficas dos dados em listas ou outras formas tabulares. O Quadro 4.2 ilustra o produto do desagrupamento e do

reagrupamento dos dados apresentados na segunda linha do Quadro 4.1, ou seja, dos dados apresentados no exemplo analisado que evidenciam concepções sobre o conceito de modelo. Nesse novo reagrupamento, exemplificamos uma tentativa de categorizar os dados em termos da concepção de modelo que eles evidenciam.

Quadro 4.1 – Exemplo de produto do processo de desagrupamento e de reagrupamento de dados qualitativos segundo as orientações de Yin. Na primeira coluna são apresentados os rótulos atribuídos aos dados reagrupados na segunda coluna.

Concepções sobre o conceito de Teoria	<p>Estudante 12: <i>Então ela [a teoria] é geral porque ela explica coisas aparentemente diversas, e ela é valorosa porque ela consegue ser específica em sua generalidade.</i></p> <p>Estudante 15: <i>A teoria, assim, né? É um estudo sobre fenômenos.</i></p> <p>Estudante 17: <i>Trabalhando com teorias. Com coisas gerais. Mas nesse geral todo, tu vai pegando um geralzinho ali, um geralzinho lá. Aí tu vê se vai dar certo. Se para ti deu certo, beleza. Tu tem um modelo. Mas se deu certo para todos, tu tem uma teoria.</i></p> <p>Estudante 12: <i>A teoria é uma coisa geral...</i></p> <p>Estudante 11: <i>[Teoria] Tem que ser a descrição completa. Não pode ter simplificação. Ou é a tentativa completa da descrição.</i></p>
Concepções sobre o conceito de Modelo	<p>Estudante 12: <i>E o modelo seria uma utilização da teoria. [...] Isso para mim é um modelo: é uma utilização da teoria.</i></p> <p>Estudante 15: <i>E o modelo seria a união dessas teorias.</i></p> <p>Estudante 17: <i>Eu acho que o modelo é aquela coisa, que nem eu disse, é aquele específico. É um caso específico. É uma coisa que tu tira um, bota outro...</i></p> <p>Estudante 16: <i>Um modelo se resume em simplicidade. [...] É que nem ele falou. Tem muita coisa acontecendo ao mesmo tempo. Daí como é que tu vai conseguir explicar isso que está acontecendo? Aí tu ignora todo o resto, foca só naquilo ali que tu quer trabalhar, daí tu está simplificando.</i></p> <p>Estudante 12: <i>...e o modelo é uma coisa simplificada.</i></p> <p>Estudante 11: <i>O que todos os modelos teriam é que, afinal, eles devem priorizar a aplicação. A aplicação experimental ou computacional. E o que todos eles têm em comum, é que nenhum está certo 100%, porque não considera...</i></p> <p>Pesquisador: <i>O que tu entende por 'certo'?</i></p> <p>Estudante 11: <i>100% correto. Não considera tudo aquilo que realmente acontece.</i></p> <p>Estudante 9: <i>Preciso?</i></p> <p>Estudante 10: <i>É. Eu acho que trocaria por preciso. Eu acho que eles não são 100% precisos, mas eles explicam muito bem um fenômeno.</i></p> <p>Estudante 11: <i>Tá. Dá para por assim, então.</i></p>

A etapa de interpretação envolve o uso do material reagrupado para criar uma narrativa que se tornará a parte analítica da investigação. Yin ressalta que essa narrativa pode ser acompanhada de tabelas e gráficos. As interpretações iniciais podem nutrir no investigador o desejo de recompilar os dados brutos de alguma forma alternativa àquela inicialmente realizada, levando o pesquisador a revisitar as etapas de desagrupamento e reagrupamento. Seguindo com o exemplo analisado, a interpretação do Quadro 4.2 evidencia, por exemplo, que os estudantes apresentaram uma multiplicidade de concepções. Pode-se interpretar ainda que a concepção predominante é de que os modelos são representações simplificadas da realidade. Com base nessas e em outras interpretações decorrentes da análise desses e de outros dados coletados por meio de outras fontes de evidência, o pesquisador precisa então construir uma narrativa em que ele procure estabelecer um encadeamento entre as evidências da pesquisa. Essa narrativa, que é o produto da interpretação dos dados, será o principal amparo para o desenvolvimento da etapa de conclusão, na qual o pesquisador vai refletir sobre seus resultados e elaborar as conclusões do seu estudo. No caso do

exemplo analisado, uma possível conclusão amparada na interpretação dos dados é de que a concepção predominante dos estudantes sobre o conceito de modelo se aproxima da concepção de Bunge.

Quadro 4.2 – Exemplo de produto do reprocessamento de dados qualitativos. As concepções sobre o conceito de modelo expostas no Quadro 4.1 foram desagrupadas e reagrupadas em novas categorias que são rotuladas na segunda coluna.

Concepções sobre o conceito de Modelo	Representação simplificada da realidade	<p>Estudante 12: <i>...e o modelo é uma coisa simplificada.</i></p> <p>Estudante 16: <i>Um modelo se resume em simplicidade. [...] É que nem ele falou. Tem muita coisa acontecendo ao mesmo tempo. Daí como é que tu vai conseguir explicar isso que está acontecendo? Aí tu ignora todo o resto, foca só naquilo ali que tu quer trabalhar, daí tu está simplificando.</i></p> <p>Estudante 11: <i>E o que todos eles têm em comum, é que nenhum está certo 100%, porque não considera...</i></p> <p>Pesquisador: <i>O que tu entende por 'certo'?</i></p> <p>Estudante 11: <i>100% correto. Não considera tudo aquilo que realmente acontece.</i></p> <p>Estudante 9: <i>Preciso?</i></p> <p>Estudante 10: <i>É. Eu acho que trocaria por preciso. Eu acho que eles não são 100% precisos, mas eles explicam muito bem um fenômeno.</i></p> <p>Estudante 11: <i>Tá. Dá para por assim, então.</i></p>
	Utilização de uma teoria em um caso específico	<p>Estudante 12: <i>E o modelo seria uma utilização da teoria. [...] Isso para mim é um modelo: é uma utilização da teoria.</i></p> <p>Estudante 17: <i>Eu acho que o modelo é aquela coisa, que nem eu disse, é aquele específico. É um caso específico. É uma coisa que tu tira um, bota outro...</i></p>
	Junção de teorias	<p>Estudante 15: <i>E o modelo seria a união dessas teorias.</i></p>
	Construção teórica usada para amparar experimentos e simulações	<p>Estudante 11: <i>O que todos os modelos teriam, é que, afinal, eles devem priorizar a aplicação. A aplicação experimental ou computacional.</i></p>

Ainda que as cinco etapas devam estar presentes em uma análise de dados rigorosa, Yin (idem) destaca que a execução delas não compreende uma ordem linear. Todas as fases podem ser continuamente revisitadas em função dos resultados obtidos em etapas posteriores. Além disso, durante o desenvolvimento da investigação, a exposição do pesquisador a outras experiências pode influenciar seu pensamento, o que pode acarretar um desejo por parte dele de investir em modificações em qualquer uma das cinco fases.

No âmbito de nossa pesquisa, três recomendações, que são destacados por Yin, foram especialmente adotadas:

- os dados foram sempre revisitados de modo a avaliar sua validade e com o cuidado de averiguar a possibilidade de alguma análise alternativa mais frutífera para os dados coletados;
- procuramos fazer análises tão completas quanto possível, buscando apresentar uma visão holística do fenômeno estudado;
- respeitamos as tendências evidenciadas pelos dados, mesmo quando elas estivessem indo de encontro às nossas expectativas (convicções ou desejos).

As orientações metodológicas de Yin ampararam o delineamento e a análise dos três estudos empíricos. Na apresentação desses estudos nos capítulos subsequentes, procuramos destacar como as ideias de Yin permearam as investigações realizadas. Por exemplo, buscamos vincular claramente as fontes de evidências usadas para responder a cada questão de pesquisa dos estudos e explicitar as proposições teóricas investigadas nos estudos explanatórios 2 e 3. Nos próximos capítulos, apresentamos os estudos desenvolvidos.

5. Estudo 1

Conforme mencionado anteriormente, o primeiro estudo desta investigação teve como um dos seus objetivos familiarizar o pesquisador com a proposta inovadora que seria adotada nas atividades de ensino conduzidas na pesquisa. Entendendo que tal proposta de ensino era ainda incipiente, optou-se naquele momento por não se deter a um referencial teórico de aprendizagem específico. Prevíamos que, com o desenvolvimento da investigação, esclareceríamos nossas dúvidas sobre a proposta que estávamos implementando, possibilitando que adotássemos um referencial teórico adequado e consistente nos próximos estudos. Em suma, buscou-se realizar uma avaliação prévia da metodologia de ensino que seria empregada promovendo um levantamento de hipóteses e proposições pertinentes para nortear os próximos dois estudos explanatórios programados. As seguintes questões nortearam a investigação.

Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam:

- *a atitude¹⁸ dos estudantes em relação às atividades experimentais?*
- *a percepção dos estudantes sobre como deve ser desenvolvida uma boa aula de laboratório?*
- *a capacidade dos alunos de relacionar os modelos teóricos da Física, o processo de modelagem científica e a experimentação?*

Nas próximas seções, detalharemos as características do estudo realizado e os principais resultados obtidos.

5.1 Participantes do estudo

O caso estudado nesta investigação é a turma matutina do semestre 2012/1 da disciplina “Física Experimental II – A” do Instituto de Física da UFRGS. As idades dos 14 estudantes que se matricularam na disciplina variavam entre 17 e 35 anos, tendo média de 22,5 anos, com desvio padrão de 4,6 anos. Apenas três deles cursavam licenciatura; 11 estavam matriculados em ênfases do bacharelado (cinco em Astrofísica, quatro em Materiais e Nanotecnologia, um em Física Computacional, e um em Pesquisa Básica). No transcorrer da disciplina, dois estudantes evadiram da disciplina: um licenciando e um bacharelado com ênfase em Astrofísica. Com isso, a média de idade dos 12 participantes que terminaram a disciplina foi de 21,6 anos com desvio padrão de 3,1 anos.

5.2 Metodologia de ensino

Nos semestres anteriores a 2012/1, quando foi realizado este estudo, a disciplina “Física Experimental II – A” era organizada em 17 aulas, uma por semana, com duração de 1h40min. A primeira delas era reservada para a apresentação da disciplina. Em 14 aulas, os estudantes, em

¹⁸ Nesta tese, o termo “atitude” é entendido como uma disposição que reflete o sentimento de um indivíduo para responder favorável ou desfavoravelmente frente a um objeto, pessoa, instituição ou evento. Mais detalhes sobre o significado atribuído a essa expressão nesta pesquisa são apresentados em Heidemann, Araujo & Veit (2011).

pequenos grupos, realizavam experimentos guiados por roteiros fortemente dirigidos¹⁹. Nas outras duas, o professor conduzia demonstrações experimentais usando um túnel de vento e maquetes de motores térmicos.

Para condução deste estudo, 10 das 17 aulas tradicionais foram substituídas por atividades com enfoque no processo de modelagem científica. Apesar de não termos adotado integralmente a proposta de ciclos de modelagem de Hestenes, optamos por usar essa mesma expressão para denominarmos nossas atividades pelo fato de termos nos inspirado na proposta do autor (JACKSON, DUKERICH & HESTENES, 2008; HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2012b). Apenas quatro atividades dessa turma se mantiveram realizadas com os roteiros habituais²⁰. Duas aulas ainda foram usadas para a realização das demonstrações experimentais tradicionalmente executadas na disciplina (túnel de vento e motores térmicos). O Quadro 5.1 sintetiza o cronograma da turma onde foram conduzidas atividades de modelagem.

Quadro 5.1 – Cronograma das aulas desenvolvida no Estudo Empírico 1.

Aulas	Atividade Realizada
1	Apresentação da disciplina e teste inicial
2, 3 e 4	Ciclo de Modelagem “Molas e Oscilações Mecânicas”
5 e 6	Ciclo de Modelagem “Pêndulos”
7	Atividade Experimental “A Constante da Gravitação Universal”
8 e 9	Ciclo de Modelagem “Arquimedes e a Coroa do Rei”
10	Demonstração sobre túnel de vento
11	Atividade Experimental “Ondas Estacionárias”
12	Atividade Experimental “Velocidade de Propagação do Som”
13	Atividade Experimental “Dilatação Térmica Linear”
14, 15 e 16	Ciclo de Modelagem “Resfriamento de Sistemas”
17	Teste final e demonstrações sobre máquinas térmicas

Os ciclos de modelagem propostos tiveram o objetivo de proporcionar aos estudantes o enfrentamento com problemas cuja solução envolve algumas das características fundamentais do processo de modelagem científica. Com isso, pretendíamos que eles desenvolvessem competências para enfrentarem situações que envolvem a confecção e o uso de modelos. Nossa expectativa era de que naturalmente as concepções de Ciência dos alunos evoluíssem alinhando-se com as concepções epistemológicas contemporâneas, sem a necessidade de que aspectos relacionados com a natureza da Ciência fossem debatidos de forma explícita com eles. Ainda que essa expectativa contrarie resultados expostos na literatura (e.g., PRINS, BULTE & PILOT, 2011; GOBERT et al., 2011;

¹⁹ No semestre 2012/1, além de ministrar as aulas para os estudantes participantes deste estudo, o autor desta investigação ministrou as aulas de outra turma de “Física Experimental II – A” conduzindo-as utilizando os mesmos roteiros que já vinham sendo tradicionalmente utilizados em outros semestres da disciplina. Tal procedimento foi realizado para familiarizar o pesquisador também com as atividades que historicamente eram realizadas. Alguns dos roteiros dessas atividades experimentais podem ser encontrados em: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01201/laboratorio.html>. Acesso em: 20/02/2015.

²⁰ Disponíveis em: http://www.if.ufrgs.br/gpef/modelagem/Fis_II_A_2012/. Acesso em: 20/02/2015.

LEDERMAN, BARTOS & LEDERMAN, 2014), que mostram que debates explícitos sobre epistemologia são indispensáveis para que os estudantes evoluam em suas concepções sobre a natureza da Ciência, entendíamos que as atividades que pretendíamos desenvolver envolveriam os estudantes com situações que suscitariam debates que implicitamente levariam os estudantes a compreenderem o caráter representacional dos modelos teóricos e a natureza do processo de modelagem científica.

A seleção dos aspectos da modelagem científica que julgamos serem os mais importantes e que, portanto, deveríamos buscar ressaltar durante as investigações realizadas nas atividades, foi apoiada nas ideias de Bunge (1974). Procuramos destacar: i) a impossibilidade de se testar diretamente uma teoria geral (e.g., Leis de Newton) por meio de dados coletados experimentalmente, prescindindo do uso de um modelo conceitual ou teórico; ii) o caráter representacional dos modelos teóricos, enfatizando que eles são representações esquemáticas recheadas de *idealizações* e *aproximações*, e nunca cópias especulares dos referentes e eventos que representam, tornando discrepâncias entre previsões confeccionadas por meio de modelos teóricos e resultados empíricos inevitáveis; e iii) que o *domínio de validade* dos modelos teóricos é extrapolado quando a influência dos aspectos desprezados torna essas discrepâncias insatisfatórias frente ao *grau de precisão* desejado. Buscando envolver os aspectos citados nos problemas propostos aos estudantes, conduzimos quatro atividades cujos enunciados são apresentados no Quadro 5.2²¹.

No ciclo de modelagem denominado “Pêndulos”, por exemplo, pretendíamos enfatizar que parte das diferenças que existem entre dados experimentais e os resultados preditos por meio do uso de modelos teóricos é decorrente das simplificações da realidade consideradas nesses modelos. Para isso, nossa expectativa era que os alunos conduzissem experimentos onde avaliariam a influência das características dos pêndulos, como, por exemplo, suas amplitudes de oscilação ou os comprimentos dos seus fios de sustentação, no período dos mesmos. As investigações dos estudantes seriam embasadas então por comparações entre: i) previsões construídas com o uso do modelo newtoniano de pêndulo simples, em que são consideradas diversas simplificações da realidade; e ii) dados coletados experimentalmente que, como tal, são influenciados por fatores desprezados no modelo de pêndulo simples.

²¹ Mais detalhes sobre as atividades “Pêndulos” e “Resfriamento de Sistemas” podem ser encontrados, respectivamente, em Heidemann, Araujo & Veit (2012b) e em Heidemann et al. (2013).

Quadro 5.2 – Enunciados dos ciclos de modelagem desenvolvidos no Estudo Empírico 1.

Ciclo de Modelagem	Enunciado
Molas e Oscilações Mecânicas	Um modelo conceitual bastante comum utilizado em física é o de sistema massa-mola. Tal modelo é empregado tanto para descrever o comportamento de corpos que oscilam devido a forças restauradoras exercidas por molas como para descrever interações entre átomos! Confeccione um modelo teórico que descreva como variam as energias de um bloco que oscila sustentado por uma mola e como varia a sua posição em função do tempo. Avalie o modelo construído em diferentes situações, comparando resultados teóricos com experimentais e analisando os motivos pelos quais ocorrem diferenças entre os valores preditos e os valores medidos nos experimentos que realizarem.
Pêndulos	É comum reduzir-se a descrição de movimentos pendulares ao modelo de pêndulo simples. Nesse modelo são consideradas algumas idealizações e aproximações que limitam seu poder preditivo sobre fenômenos físicos “reais”. Nesta tarefa exploraremos o contexto de validade do modelo de pêndulo simples. Para isso, queremos que vocês explorem os limites nos quais o período predito pelo modelo de pêndulo simples se desvia do obtido experimentalmente por menos de 5%.
Arquimedes e a Coroa do Rei	Diz a lenda que Arquimedes, a mando do rei Hieron II de Siracusa, teria concluído que a coroa real, supostamente produzida apenas com ouro puro, continha uma parcela de prata em sua composição. Arquimedes teria descoberto o princípio que leva seu nome durante um banho, no qual teria visto o nível da água subir enquanto mergulhava seu corpo nela. Apesar da veracidade de tal relato ser profundamente questionada por historiadores da Ciência, o método que Arquimedes supostamente utilizou para avaliar a composição da coroa do rei é utilizado até hoje em bons laboratórios de Física. Nesta tarefa, você deverá avaliar a composição de um objeto que contém chumbo e alumínio. Em paralelo, você deverá analisar quais as idealizações e aproximações que foram consideradas no modelo teórico que utilizará e buscar avaliar a plausibilidade física da lenda de Arquimedes.
Resfriamento de Sistemas	<p>Os dados do gráfico abaixo apresentam medidas de temperatura de dois pratos cheios de água (um deles aberto e outro fechado) em função do tempo. Também é apresentada a temperatura ambiente do local onde o experimento foi realizado.</p> <p>No dia em que foi realizado o experimento (início de janeiro em Porto Alegre/RS) a umidade relativa era de 70%. O local onde os dois pratos ficavam era próximo de uma janela que estava aberta. Assim sendo, também havia uma pequena corrente de ar no local. Nessa atividade você deverá, com o auxílio de um experimento real ou virtual, elaborar um modelo teórico que explique a evolução da temperatura dos dois pratos apresentados no gráfico acima.</p>

Deixando ao encargo dos estudantes a formulação de hipóteses, assim como a definição dos procedimentos a adotar, procuramos propor problemas “abertos”, ou seja, problemas pouco definidos, onde não são estabelecidos previamente os valores das principais grandezas envolvidas nas situações enfrentadas, estimulando que os estudantes realizem estimativas para elas. Apoiando-nos na proposta de ciclos de modelagem de Hestenes (JACKSON, DUKERICH, HESTENES, 2008; HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2012b), desenvolvemos os ciclos de modelagem em três etapas: 1^a) apresentação de um problema; 2^a) investigação em pequenos grupos; e 3^a) discussões finais com o grande grupo. Nessas discussões finais, foi incentivado o debate entre os estudantes tanto para qualificar seus discursos quanto para promover um contraste dos diferentes resultados obtidos pelos grupos. A proposta de Hestenes também nos inspirou no uso de pequenos quadros brancos (de aproximadamente 100 cm x 75 cm), para o compartilhamento de ideias nos grupos, nas etapas de investigação, e para facilitar o debate no grande grupo, nas discussões pós-laboratoriais. A Figura 5.1 ilustra o uso desses quadros-brancos em uma discussão final.

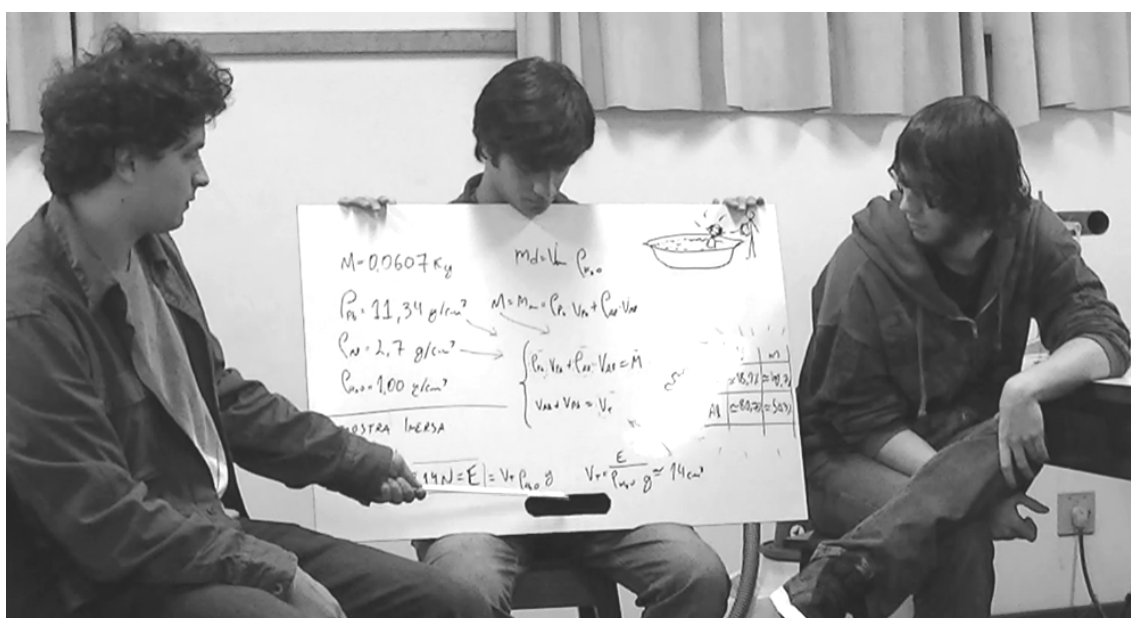


Figura 5.1 – Pequenos quadros-brancos foram utilizados pelos estudantes nas discussões finais, facilitando a comparação entre os dados obtidos por suas investigações.

O uso do computador por parte dos alunos foi estimulado tanto para auxiliar a aquisição de dados como para a condução de experimentos virtuais. Em especial, incentivamos o uso dos softwares *Tracker*²² e *Modellus*²³.

5.3 Procedimentos metodológicos de investigação

Seguindo as recomendações de Yin (2005), para cada uma das questões de pesquisa do estudo, estabelecemos previamente proposições teóricas que dirigiram a coleta de dados da investigação. Como exemplo, analisamos os procedimentos realizados com a seguinte questão de

²² Disponível em: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>. Acesso em: 20/02/2015.

²³ Disponível em: <http://modellus.co/>. Acesso em: 20/02/2015.

pesquisa: como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam a atitude dos estudantes em relação às atividades experimentais?

Para essa questão, construímos, já no início do estudo, a seguinte proposição teórica: atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes construam atitudes mais positivas em relação às atividades experimentais, porque elas são frutíferas para promover o estudo de problemas abertos que requerem autênticas investigações, promovendo um maior envolvimento dos alunos com os problemas enfrentados.

Dirigidos por essa proposição, procuramos criar instrumentos de coleta de dados que tivessem potencial para nos fornecer evidências que dessem apoio empírico para ela. A Questão 4 do questionário do Apêndice B, por exemplo, foi confeccionada com esse propósito. Nela, solicitamos que os respondentes apontassem os seus níveis de concordância com uma série de afirmativas como, por exemplo, “gosto de aulas de laboratório de Física“. A concordância (ou discordância) dos estudantes com essa afirmativa demonstraria que eles tinham uma atitude positiva (ou negativa) em relação às atividades experimentais, e essa é a lógica de uma proposição teórica exemplificada com esse instrumento de coleta de dados. Todas as proposições teóricas que dirigiram este estudo e as evidências coletadas serão detalhadas na próxima seção, durante a apresentação dos resultados da investigação. Cabe ressaltar que, ainda que tenhamos utilizado proposições teóricas para dirigir a coleta de dados do estudo, adotamos uma postura exploratória, mantendo-nos abertos para coletar evidências não planejadas.

Ainda seguindo as orientações metodológicas de Yin (idem), utilizamos múltiplas fontes de evidência. Especificamente, foram usados:

a) um questionário aplicado como teste inicial e teste final (Apêndice B) no qual os estudantes manifestaram, entre outras coisas, suas experiências em disciplinas experimentais e suas expectativas para a disciplina conduzida no estudo. Além disso, eles apontaram seus níveis de concordância com uma série de afirmativas que tinham como intuito possibilitar inferências sobre as atitudes dos participantes em relação às aulas experimentais, as crenças dos estudantes sobre o que eles entendem por uma boa aula de laboratório, e as concepções dos alunos sobre a natureza da Ciência, dos modelos científicos e da modelagem. Essas últimas afirmativas foram reproduzidas do trabalho de Brandão et al. (2011);

b) filmagens das discussões finais dos ciclos de modelagem;

c) relatórios produzidos pelos alunos sobre cada uma das atividades experimentais realizadas; e

d) gravações de entrevistas semiestruturadas realizadas após o término da disciplina com quatro estudantes, escolhidos de modo a abarcar quatro diferentes perfis de participantes. Optamos então por entrevistar estudantes que manifestaram: preferência por aulas

tradicionais (Estudante 6); frustração com o ensino tradicional (Estudante 12); grande entusiasmo com as atividades de modelagem (Estudante 11); competência na elaboração de relatórios experimentais de boa qualidade (Estudante 7). O guia dessas entrevistas é apresentado no Apêndice C.

Os principais trechos das manifestações dos alunos nos questionários, nas filmagens, nas entrevistas e nos relatórios foram transcritos e organizados em um banco de dados. A análise desses dados foi realizada seguindo as orientações propostas por Yin para a análise de dados qualitativos (veja seção 4.2).

5.4 Resultados

Buscando tornar clara a exposição, apresentamos os resultados da investigação em três subseções que abordam cada uma das questões que nortearam o Estudo 1. Para cada uma das questões, especificamos as proposições teóricas avaliadas e, de imediato, passamos às evidências coletadas a seu respeito.

5.4.1 Como atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam a atitude dos estudantes em relação às atividades experimentais?

Proposição Teórica: Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes construam atitudes mais positivas em relação às atividades experimentais, porque elas são frutíferas para promover o estudo de problemas abertos que requerem autênticas investigações, demandando um maior envolvimento dos alunos com os problemas enfrentados.

Para medir a atitude dos estudantes em relação às aulas experimentais, foi solicitado que apresentassem seus níveis de concordância às afirmativas da Questão 4 do Questionário no Apêndice B. Entre essas afirmativas estava, por exemplo, a seguinte: “Não me interesso pelas atividades desenvolvidas durante as aulas de laboratório de Física”. Baseado nas orientações metodológicas de Ajzen (HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2012), foram atribuídos os valores 1, 2, 3, 4 e 5 (positivos ou negativos) para as respostas “discordo fortemente”, “discordo”, “indeciso ou sem opinião”, “concordo” e “concordo fortemente”, respectivamente. O sinal foi tomado como negativo para as afirmativas em que a concordância evidencia um sentimento desfavorável às atividades experimentais²⁴. Feita essa conversão, as atitudes dos estudantes no início e no final do estudo foram mensuradas pelo somatório dos índices inferidos dos níveis de concordância dos estudantes com as afirmativas da Questão 4.

²⁴ Especificamente, atribuímos o sinal negativo na conversão dos níveis de concordância dos estudantes nas questões 4.02, 4.05 e 4.08 do questionário.

Procurando validar essa questão, utilizamo-la como teste inicial e final com todos os estudantes das disciplinas “Física Experimental I – A” e “Física Experimental II – A” do semestre 2012/1, totalizando 124 respostas. O coeficiente de fidedignidade alfa de Cronbach (FIELD, 2009) obtido para tal amostra foi de 0,853²⁵, o que pode ser entendido como uma evidência de que essas questões medem um mesmo construto e de que elas possuem validade interna.

Normalizamos as atitudes em relação às aulas experimentais dos participantes dessa investigação para valores entre 0 e 10. No teste inicial, a atitude média dos alunos foi de 6,5 com desvio padrão de 1,2. No teste final, a média das atitudes foi de 7,0 com desvio padrão de 1,3. Devido ao reduzido número de participantes no estudo, para avaliar se as diferenças de suas atitudes em relação às aulas experimentais antes e depois da disciplina são estatisticamente significativas, optamos por um teste não-paramétrico: o teste de Wilcoxon pareado²⁶ (idem). O resultado da aplicação do teste aos dados coletados apontou que tais diferenças não são estatisticamente significativas ao nível de 5%.

Com o intuito de aprofundar a análise sobre as atitudes dos estudantes frente às atividades experimentais, realizamos também uma análise qualitativa das manifestações expostas pelos participantes no questionário usado como teste final. Essa análise forneceu evidências de que os estudantes tinham uma atitude positiva em relação aos ciclos de modelagem ao final da disciplina. Quando eram convidados a explicitar se suas expectativas com a disciplina foram alcançadas no teste final, todos os doze estudantes manifestaram que saíram satisfeitos com as atividades conduzidas na disciplina. Pode-se agrupar as respostas dos estudantes em três categorias. Na primeira delas, que continha as respostas de seis estudantes, juntamos as manifestações dos estudantes que disseram que suas expectativas foram alcançadas. Um exemplo de resposta posicionada nesta categoria foi apresentada pelo Estudante 3: “*Sim [suas expectativas foram alcançadas na disciplina]. Aprendi muito na prática os fundamentos da Física*”. Na segunda categoria, que contém respostas de cinco estudantes, agrupamos as respostas em que, espontaneamente, os participantes afirmaram que suas expectativas foram superadas positivamente. A resposta do Estudante 11 exemplifica um enunciado dessa categoria: “[minhas expectativas] *foram superadas, pois não imaginava que teria o ciclo de modelagem, que foi uma surpresa muito agradável*”. A terceira categoria englobou apenas a resposta do Estudante 8, que disse que suas expectativas na disciplina não foram alcançadas. Ele justificou dizendo: “*Realmente achei que a aula de experimental seria tão ruim quanto a experimental I [referindo-se à disciplina que precede “Física Experimental II – A”]*”.

²⁵ O alfa de Cronbach é um coeficiente utilizado para se mensurar a fidedignidade de um conjunto de questões. A lógica que subjaz os cálculos realizados para medi-lo é que, se um conjunto de questões mede o mesmo construto, todos os subconjuntos dessas questões devem se correlacionar fortemente. Desse modo, a mensuração do coeficiente com valor próximo de 1 pode ser interpretada como um indício de que o conjunto de questões analisado efetivamente mede um mesmo construto. Mais detalhes sobre esse coeficiente podem ser consultados em Field (2009).

²⁶ Optamos por utilizar o teste de Wilcoxon pareado em função de ele ser um teste não-paramétrico adequado para situações em que se deseja comparar amostras dependentes. Sendo um teste não-paramétrico, não é assumido como pressuposto que os dados analisados obedeçam qualquer distribuição pré-estabelecida como, por exemplo, a distribuição normal. A lógica envolvida no teste de Wilcoxon é que, se não existe diferença estatisticamente significativa entre dois conjuntos de dados dependentes, o ordenamento desses dados, ou seja, a organização desses dados em um *ranking* do maior valor para o menor, deve ser o mesmo nos dois conjuntos de dados pareados. Mais detalhes sobre esse teste podem ser consultados em Field (2009).

Todavia, os ciclos de modelagem me deram uma liberdade de escolha de atuação do experimento que eu realmente me senti um físico de verdade". Pode-se interpretar dessas categorias de respostas que todos os estudantes apresentaram um sentimento positivo frente aos ciclos de modelagem desenvolvidos na disciplina.

A manifestação do Estudante 8, além de evidenciar que ele possui uma atitude positiva em relação aos ciclos de modelagem, demonstra também que os problemas enfrentados nessas atividades lhe agradaram. Quando destaca no teste final a *"liberdade de escolha de atuação do experimento"*, o estudante mostra que o caráter aberto das atividades propostas foi um fator que influenciou na formação da sua atitude em relação às aulas de laboratório. Em entrevista, o Estudante 12 fez uma manifestação semelhante. Ele disse: *"Tem que dar liberdade. Claro que essa liberdade tem que ser guiada, mas eu acho deve ser assim"*. A concepção de que as atividades abertas são melhores que atividades dirigidas parece ter sido compartilhada por todos os estudantes, pois todos eles concordaram com a seguinte afirmativa no teste final: *"uma boa aula de laboratório deve dar liberdade para que os alunos decidam a forma como resolverão os problemas propostos nas atividades"*. Outros dados que demonstram que os estudantes gostaram de enfrentar problemas abertos são suas manifestações no teste final quando solicitados que apontassem as vantagens e as desvantagens das aulas com enfoque na modelagem científica e das aulas tradicionais.

A categorização das respostas dos estudantes, que será mais profundamente debatida na próxima seção, evidenciou que seis dos estudantes destacaram a liberdade para construir e utilizar seus próprios modelos como uma vantagem dos ciclos de modelagem, assim como três participantes apontaram a falta de liberdade dada aos estudantes como uma desvantagem das aulas tradicionais. Esses resultados fornecem apoio empírico para a proposição teórica que tínhamos quando começamos o estudo, em que julgávamos que o enfrentamento de autênticas investigações, em que os estudantes têm liberdade para tomar decisões, promoveria um maior envolvimento deles com as atividades.

Quando questionados no teste final sobre as suas preferências em termos dos métodos de ensino utilizados na disciplina, 11 alunos apontaram preferir as atividades de modelagem, e apenas dois preferiram as atividades tradicionais. Em entrevista, um desses dois estudantes, o Estudante 6, justificou sua escolha destacando que o tempo dispendido para a confecção do delineamento dos experimentos a serem realizados nos ciclos de modelagem era longo: *"ficava menos tempo focado na parte experimental, que talvez fosse o objetivo da aula experimental"*. Contudo, esse mesmo aluno disse que gostou das discussões finais: *"Bah... Essa era a parte que eu mais gostava. Eu sou mais tímido, então eu não falava tanto, mas... de discutir ali no final... bah... eu acho isso bom [...] ter que discutir todos os resultados com todo mundo"*. Essa manifestação do Estudante 6 parece representar a opinião dos quatro entrevistados no estudo. A análise qualitativa dessas entrevistas possibilitou que constituíssemos uma categoria agrupando declarações dos quatro entrevistados em que eles afirmaram ter gostado muito das discussões finais. Um exemplo de declaração estabelecida nessa categoria é apresentado pelo Estudante 11:

É o que mais eu gostava. Acho que a essência é isso. É troca de ideia, é um questionar o trabalho do outro. [pausa] Às vezes até as pessoas ficam até meio assim 'ah... não vou ferrar o trabalho dele, senão ele vai ferrar o meu', mas não é bem assim. [...] Com o tempo foi melhorando.

As discussões finais, portanto, foram possivelmente o aspecto que mais agradou os estudantes nos ciclos de modelagem.

Destacamos que, para o sucesso das discussões finais, a promoção de um ambiente dialógico foi fundamental. Na primeira vez em que a discussão final ocorreu, os estudantes pouco interagiram, realizando apresentações burocráticas e rápidas. Com o desenvolvimento da disciplina, eles passaram a compreender a proposta e a se envolver mais nas discussões. O Estudante 6 destacou essa evolução em sua entrevista. Ele atribuiu as dificuldades enfrentadas nas primeiras discussões finais ao sentimento que permeava as apresentações de que os estudantes estavam sendo expostos a uma avaliação: *“Eu acho que era mais por encarar aquilo como avaliação. [...] É diferente se expor sendo avaliado e se expor sem ser avaliado. [...] Com o passar do tempo, eles passaram a encaram aquilo mais naturalmente. Não é esse bicho papão todo fazer uma apresentação”.*

Visto que as falas dos estudantes nos forneciam algumas evidências de que a atitude deles em relação às aulas de laboratório era mais positiva após a disciplina, buscamos avaliar o motivo pelo qual o questionário utilizado no estudo não detectou tal evolução. Após uma conversa informal com o Estudante 4, e a reanálise de suas respostas, levantamos uma hipótese. Em suas manifestações no teste final, esse estudante evidenciou que a sua atitude frente aos ciclos de modelagem era bem mais positiva do que em relação às aulas experimentais tradicionais. Ele disse:

Após a experimental I [disciplina que antecede “Física Experimental II – A”] havia ficado realmente desanimado (sem expectativas). O método utilizado dessa vez foi de longe mais eficaz e mesmo eu não sendo fã de física experimental, aproveitei a cadeira.

No entanto, suas atitudes em relação às aulas de laboratório foram mensuradas como 4,3 no teste inicial e como 4,0 no teste final, o que representa uma tímida mudança na atitude do estudante no sentido de se tornar menos positiva, o que era inconsistente com o seu discurso. Estabelecemos então a seguinte hipótese alternativa: as respostas dos estudantes às questões do teste final utilizadas para se medir a atitude dos estudantes em relação às atividades experimentais não refletiam os sentimentos deles sobre os ciclos de modelagem. Ainda que não tenhamos dados suficientes para avaliar tal hipótese de forma mais profunda, colhemos uma evidência que lhe dá apoio empírico. Quando questionado sobre ter demonstrado um sentimento negativo em relação às aulas de laboratório nas suas respostas ao teste final, o que parecia inconsistente com o seu discurso, que evidenciava uma atitude muito positiva em relação às atividades com enfoque na modelagem científica, o Estudante 4 argumentou que respondeu às questões tendo em mente as aulas de laboratório tradicionais. Por exemplo, no teste final, quando questionado sobre a afirmativa “Sinto vontade de ir para as aulas de laboratório de Física”, o Estudante 4 assinalou seu nível de concordância com ela considerando as aulas de laboratório em que não foram realizados ciclos de modelagem, e não as aulas norteadas por essa metodologia. É possível que mais alunos tenham

respondido ao questionário usando o mesmo raciocínio, o que pode ser uma evidência de que a redação das afirmativas propostas no teste final precisam ser mais específicas nos próximos estudos, sendo substituída, por exemplo, a expressão “aulas de laboratório de Física” nas afirmativas por “aulas experimentais com enfoque na modelagem científica”.

Em síntese, podemos concluir que as atividades de modelagem promoveram uma atitude positiva dos alunos em relação às aulas experimentais. Esse resultado vai ao encontro dos resultados de Abrahams & Saglam (2010), que concluem que atividade práticas de laboratório promovem uma atitude mais positiva dos estudantes em relação ao trabalho experimental, assim como em relação à Ciência. Pode-se concluir ainda que, apesar de a aplicação do questionário utilizado para medir as atitudes dos estudantes frente às aulas de laboratório tenha demonstrado que ele tem validade interna, foram coletadas evidências de que o construto efetivamente medido com ele não é a atitude dos estudantes em relação aos ciclos de modelagem, mas sim em relação às aulas de laboratório tradicionais. Essa imprecisão do questionário será corrigida na sua aplicação no Estudo 2. Por fim, foram coletados dados que corroboram a proposição teórica que estabelecemos no início do estudo. As atitudes dos estudantes, que demonstraram ser bastante positivas em relação aos ciclos de modelagem, efetivamente foram influenciadas pela liberdade que eles possuíam durante as atividades em que eles eram defrontados com autênticas investigações.

5.4.2 Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam na percepção dos estudantes sobre como deve ser desenvolvida uma boa aula de laboratório?

Proposição Teórica: Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes valorizem atividades em que lhes é dada liberdade para decidirem sobre aspectos centrais das investigações, porque elas são frutíferas para fomentar o engajamento dos alunos, instando-os a dirigir esforços para dirimir suas curiosidades e dificuldades conceituais durante as aulas.

Inicialmente, realizamos a categorização das respostas dos estudantes às questões dissertativas do teste inicial, o que evidenciou que eles entendem que a principal função das aulas de laboratório de Física é de complementar os conhecimentos debatidos nas aulas teóricas. Foram identificadas manifestação de oito alunos que enfatizam tal aspecto de algum modo nas suas respostas. O Estudante 2, por exemplo, afirmou que a sua expectativa para a disciplina é de “*aprender os casos reais e aplicados do conteúdo trabalhado em Física II*”. Outro fator que corrobora tal conclusão é que todos os estudantes apontaram que concordam, no teste final, com a afirmativa que diz que “uma boa aula de laboratório deve ilustrar na prática as leis e teorias apresentadas nas aulas teóricas de Física”. Conclusões semelhantes podem ser inferidas da análise das respostas dos estudantes no teste final à seguinte afirmativa: “uma boa aula de laboratório deve ilustrar experimentalmente os problemas acadêmicos resolvidos nas aulas teóricas de Física”.

Dos 14 respondentes, 13 concordaram com as afirmativas do teste inicial que ressaltavam a necessidade de se destacar a aplicabilidade dos conteúdos de Física nas aulas de laboratório. Apenas um estudante se mostrou indeciso em relação a elas. Por outro lado, o número de alunos que concorda com as afirmativas que ressaltam que as aulas de laboratório devem ser focadas em aspectos que serão importantes na carreira profissional dos alunos e em problemas do cotidiano dos estudantes cai para apenas sete respondentes. Tais dados mostram que, apesar de os participantes do estudo defenderem que as aulas de laboratório necessitam envolver aplicações dos conteúdos de Física, eles não apresentam uma visão utilitarista da disciplina, ou seja, não entendem que o conhecimento debatido nas aulas necessariamente tenha de ter uma utilidade evidente e imediata.

O desenvolvimento de habilidades experimentais também é considerado um aspecto importante das aulas de laboratório pelos estudantes. Todos eles concordaram com a afirmativa do teste inicial que defendia que as aulas de laboratório devem promover habilidades relacionadas com análises estatísticas de dados experimentais. Somente dois respondentes não concordaram com a afirmativa que destaca a necessidade de se promover habilidades de manuseio dos instrumentos experimentais nas aulas de laboratório.

Uma comparação entre os níveis de concordância dos participantes com as afirmativas propostas nos testes inicial e final nos permite concluir que a visão dos alunos sobre como deve ser uma boa aula de laboratório pouco mudou ao final do nosso estudo. No entanto, pode-se detectar uma mudança que possivelmente esteja relacionada com a evolução que detectamos na concepção dos estudantes quanto à natureza dos modelos científicos.

Em função de os estudantes tratarem com mais naturalidade as diferenças entre os valores preditos pelos modelos teóricos e os dados coletados experimentalmente, eles passaram a ter menos apreço por instrumentos precisos e a aceitarem com mais tranquilidade as incertezas experimentais. Assim, entendendo que as diferenças entre as predições dos modelos teóricos e os dados coletados empiricamente são inevitáveis, os estudantes passaram a compreender que a análise dessas discrepâncias não possibilita a refutação de uma teoria. Tal fato é evidente nos níveis de concordância apontados pelos participantes às afirmativas 5.06, 5.10 e 5.13, nas quais foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre as respostas dos participantes no pré e no teste final. Os dados coletados para essas afirmativas são resumidos no Quadro 5.3.

O grande número de estudantes que concordou com a afirmativa que dizia que “uma boa aula de laboratório deve dar liberdade para que os alunos decidam a forma como resolverão os problemas propostos nas atividades” mostra que os estudantes primam por liberdade nas aulas de laboratório. Apenas dois alunos não concordaram com tal frase no teste inicial, mostrando-se indecisos em relação a ela. Já no teste final, todos os participantes passaram a concordar com essa afirmativa. Tal fato se refletiu na análise das respostas ao teste final, quando era solicitado que os estudantes apontassem vantagens e desvantagens das aulas com enfoque na modelagem científica e das aulas tradicionais. Como já mencionamos na subseção anterior, a categorização das respostas dos estudantes evidenciou que seis dos estudantes destacaram a liberdade para construir e utilizar seus próprios modelos como uma vantagem dos ciclos de modelagem, assim como três participantes

apontaram a falta de liberdade dada aos estudantes como uma desvantagem das aulas tradicionais. O Quadro 5.4 resume os principais aspectos destacados pelos alunos no teste final.

Quadro 5.3 – Afirmativas sobre boas aulas de laboratório nas quais houve diferenças estatisticamente significativas ao nível de 2% entre as respostas do pré e do teste final no Estudo 1. Para os cálculos das médias apresentadas, atribuímos os índices 1, 2, 3, 4 e 5 para as respostas “discordo fortemente”, “discordo”, “indeciso ou sem opinião”, “concordo” e “concordo fortemente”, respectivamente. As significâncias estatísticas são dadas pelo teste de Wilcoxon pareado.

Uma boa aula de laboratório deve...		Média Teste inicial	Média Teste final	Sig.
5.06	Envolver o uso de equipamentos bastante precisos e elaborados.	4,00	3,08	0,008
5.10	Ser planejada com o intuito de que os alunos não cometam erros e, assim, obtenham resultados diferentes dos preditos pelos modelos teóricos da Física.	3,07	1,85	0,010
5.13	Provar a eficiência das leis e teorias físicas para descrever fenômenos físicos.	4,14	3,54	0,014

Quadro 5.4 – Categorização das vantagens e desvantagens das aulas com ciclos de modelagem e das aulas tradicionais destacadas pelos 12 participantes do Estudo 1. Os valores entre parênteses indicam o número de respondentes que destacou cada vantagem ou desvantagem.

Aulas com enfoque no processo de modelagem científica		Aulas tradicionais	
Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Dão liberdade para construir e utilizar meus próprios modelos (6)	Exigem muito tempo (3)	Aulas objetivas, com experimentos concebidos para o ensino de Física (4)	As aulas são menos interessantes (4)
Estimula o pensamento científico, a criatividade e a intuição física (5)	Os relatórios experimentais ficam muito longos e trabalhosos (2)	Os experimentos são mais fáceis (3)	Aprende-se menos que com as aulas com enfoque na modelagem científica (4)
Aprende-se com as discussões pós-laboratoriais (4)	A liberdade dada pode promover falta de responsabilidade nos alunos (2)	Os experimentos são mais rápidos (2)	Não dão liberdade ao aluno (3)
Os experimentos são investigados com mais profundidade (2)			Não incentiva o pensamento científico (3)

A análise do Quadro 5.4 evidencia que a distribuição adequada do tempo para a realização de cada atividade é um fator importante para os estudantes. A exigência de um longo intervalo de tempo foi tratada por eles como uma desvantagem das atividades enfocadas no processo de modelagem científica, assim como a rapidez com que os experimentos são desenvolvidos foi tratada como uma vantagem das aulas tradicionais. Tal resultado é consistente com as conclusões do trabalho de Deacon & Hajek (2011).

Em síntese, podemos concluir que, majoritariamente, os estudantes investigados, graduandos de Física, entendem que as aulas de laboratório devem complementar as aulas teóricas. Destaca-se ainda que eles não esperam que tais aulas tenham um perfil “utilitarista”, ou seja, que elas tenham enfoque em aspectos que tenham utilidade imediata para as suas carreiras profissionais ou para suas

vidas pessoais. A principal mudança promovida pela disciplina se refere à necessidade que os estudantes sentiam: i) de coletarem dados muito precisos nas aulas experimentais, que eles, ao final da disciplina, passaram a julgar como um dos aspectos não tão importante, e ii) de serem dirigidos durante os experimentos para que os dados coletados experimentalmente não tenham diferenças em relação às previsões dos modelos teóricos, pois essas diferenças passaram a ser melhor compreendidas pelos participantes ao final da disciplina. Cabe ressaltar que, indo de encontro aos resultados de Deacon & Hajek (2011), que concluem que atividades abertas favorecem atitudes negativas dos estudantes em relação às atividades experimentais, o uso de problemas abertos foi, na visão dos estudantes, um aspecto positivo dos ciclos de modelagem, o que corrobora a proposição teórica em que estipulávamos que os ciclos de modelagem levariam os estudantes a valorizar a liberdade nas aulas experimentais.

5.4.3 Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam a capacidade dos alunos de relacionar os modelos teóricos da Física, o processo de modelagem científica e a experimentação?

Proposições teóricas: Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes esclareçam o papel dos modelos teóricos no delineamento e na interpretação de experimentos científicos, superando a concepção ingênua de que os experimentos são usados para provar o conhecimento científico e/ou para construir teorias por meio da lógica indutiva. Isso por que essas atividades: a) destacam o caráter representacional dos modelos teóricos, possibilitando que os estudantes compreendam as diferenças entre previsões dos modelos e resultados experimentais; e b) evidenciam o papel dos experimentos no processo de avaliação do grau de precisão e do domínio de validade dos modelos científicos.

Analisando os relatórios confeccionados pelos estudantes, constatamos que os objetivos experimentais apresentados pareciam demonstrar que os estudantes evoluíram no sentido de superar concepções empiristas-indutivistas ingênuas. Demonstrando compreender que, na sua investigação, seu objetivo era construir um modelo para descrever um evento real, e não provar uma lei ou teoria, o Estudante 7, por exemplo, relatou o seguinte objetivo experimental para a atividade do primeiro ciclo de modelagem: “[...] *este trabalho destina-se a estudar o sistema massa-mola, comparando os dados teóricos com os observados em relação à energia e à posição do sistema, determinando um modelo para descrevê-lo*”. Pôde-se identificar resquícios de objetivos experimentais empiristas para justificar os experimentos, argumentando que as atividades tinham o intuito de provar ou refutar uma teoria, em apenas 8 dos 25 relatórios confeccionados. No relatório do Estudante 7 sobre o primeiro ciclo de modelagem, por exemplo, ele argumenta que o objetivo da sua investigação era “*determinar a constante elástica da mola utilizada no experimento (através da lei de Hooke) e comprovar a dependência do período de oscilação com a massa do sistema*”. Com o termo

“comprovar”, o estudante demonstra crer que é possível se atribuir o caráter de verdade definitiva para as teorias científicas.

Dentre as características do processo de modelagem científica, a mais evidente no discurso dos estudantes foi o papel das idealizações para o desenvolvimento dos modelos científicos, que foram destacadas em 19 dos relatórios dos alunos. Como decorrência, pôde-se perceber que os estudantes passaram a tratar das discrepâncias entre as previsões teóricas e os resultados experimentais com mais naturalidade. Um dos alunos, que no teste inicial se mostrava frustrado com essas discrepâncias, ressaltou tal fato: “A teoria... *Enfim, ela tem um domínio de validade. [...] Tu vai até certo ponto com uma teoria*”. Pôde-se concluir ainda, por meio da análise dos relatórios dos estudantes, que as atividades voltadas à análise do domínio de validade de um modelo são mais propensas a enfatizar o seu caráter representacional, evidenciando suas idealizações e aproximações.

Os níveis de concordância apontados pelos estudantes às afirmativas propostas no teste final nos evidenciou alguns avanços de suas concepções sobre a natureza dos modelos científicos. Para analisá-los, atribuímos os índices 1, 2, 3, 4 e 5 para as respostas “discordo fortemente”, “discordo”, “indeciso ou sem opinião”, “concordo” e “concordo fortemente”, respectivamente²⁷. No entanto, usando o teste de Wilcoxon pareado (FIELD, 2009), foram detectadas diferenças estatisticamente significativas ao nível de 6% entre as respostas dos participantes no teste inicial e no teste final em cinco das afirmativas da Questão 6, apresentadas no Quadro 5.5. É importante ressaltar que a diminuição das médias dos níveis de concordância dos participantes com as afirmativas 6.02, 6.16 e 6.22 demonstra que eles passaram a discordar delas no teste final, o que pode ser entendido como uma evidência de uma evolução em suas concepções sobre Ciência. Outra evidência dessa evolução é o aumento das médias das concordâncias com as afirmativas 6.04 e 6.14.

Quadro 5.5 – Afirmativas sobre a natureza dos modelos e da modelagem científica nas quais houve diferenças estatisticamente significativas ao nível de 6% entre as respostas nos testes inicial e final do Estudo 1. Para os cálculos das médias apresentadas, atribuímos os índices 1, 2, 3, 4 e 5 para as respostas “discordo fortemente”, “discordo”, “indeciso ou sem opinião”, “concordo” e “concordo fortemente”, respectivamente. As significâncias estatísticas são dadas pelo teste de Wilcoxon pareado.

Afirmativa		Média Teste inicial	Média Teste final	Sig.
6.02	Só se pode afirmar que o conhecimento científico é definitivo quando há concordância entre os resultados experimentais e suas previsões em variadas condições.	3,43	2,62	0,05
6.04	Uma importante característica do conhecimento científico é a sua falibilidade.	3,67	4,23	0,06
6.14	Modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re)constrói.	4,07	4,46	0,05
6.16	Modelos científicos devem ser modificados sempre que não estiverem de acordo com os dados empíricos ou com o corpo de conhecimento já estabelecido.	4,08	2,85	0,006
6.22	Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos.	3,23	2,31	0,006

²⁷ Não realizamos o agrupamento de afirmativas sugerido por Brandão et al. (2011), pois tal análise se mostrou inviável pelos valores insatisfatórios de coeficientes de fidedignidade encontrados (menores que 0,6).

As respostas dos estudantes às afirmativas apresentadas no Quadro 5.5 evidenciam que eles passaram a compreender que os modelos científicos não possibilitam o estabelecimento de predições perfeitamente precisas sobre um evento real, ou seja, que é natural que existam diferenças entre predições construídas por meio de modelos científicos e dados coletados empiricamente. Por exemplo, eles passaram a discordar mais no teste final do que no teste inicial da afirmativa 6.22. Desse modo, pode-se inferir que as atividades focadas na modelagem científica possibilitaram que os estudantes passassem a tratar as diferenças entre as predições dos modelos teóricos e os resultados experimentais com mais naturalidade. Isso possivelmente contribuiu para que eles construíssem atitudes mais positivas frente às atividades experimentais, pois a não compreensão dos fatores que originam as diferenças entre as predições e os dados empíricos em experimentos científicos pode ser um fator de frustração, como é evidenciado na manifestação do Aluno 12 no teste inicial: *“O que observei é que muitos experimentos não fecham com a teoria, e isso é frustrante. Espero dessa disciplina que teoria e prática concordem mais”*.

Por outro lado, os níveis de concordância apontados pelos participantes às outras afirmativas propostas no teste final, que estão sintetizados em uma tabela no Apêndice D, nos permitem concluir que as concepções de Ciência dos estudantes investigados estavam pouco alinhadas com as concepções epistemológicas contemporâneas e elas pouco se modificaram com as atividades desenvolvidas no estudo. Por exemplo, no teste final, dez dos 12 estudantes manifestaram uma postura tipicamente empirista-indutivista, concordando com a afirmativa que diz: *“As leis científicas são generalizações de muitas observações e/ou experimentos”*. Também a concordância dos alunos com as duas seguintes afirmativas *“o ponto de partida para a construção do conhecimento científico sempre deve ser a observação e a experimentação”* e *“a observação científica sempre é realizada a partir de algum pressuposto teórico sobre o objeto de estudo”* evidenciam que eles não compreenderam o papel das teorias gerais no processo de construção de modelos teóricos.

Demonstrando limitações na capacidade de simplificar os eventos estudados, os estudantes mostraram dificuldades para delinear as variáveis que deveriam ser controladas nas investigações. Na discussão final do segundo ciclo de modelagem, por exemplo, um grupo, que buscava avaliar o domínio de validade do modelo de pêndulo simples, discursou sobre a influência do comprimento do fio de um pêndulo no seu período com base em um experimento em que eles variavam simultaneamente a amplitude e o comprimento de um pêndulo. Assim, eles desconsideravam a influência da amplitude no período dos pêndulos, atribuindo as variações observadas no período exclusivamente às mudanças de comprimento. Tal episódio evidencia que esses estudantes não dominavam suficientemente o processo de modelagem envolvido na atividade.

Por meio das manifestações dos estudantes nas quatro entrevistas realizadas²⁸, pudemos identificar indícios de que os estudantes permaneceram com concepções confusas sobre a natureza da Ciência e da modelagem científica após a disciplina. Em três delas pôde-se identificar claros traços empiristas-indutivistas. Quando questionado sobre o papel dos experimentos no desenvolvimento da Física, o Estudante 12, por exemplo, respondeu: *“Eu acho que o experimento é*

²⁸ Usando os critérios especificados no item d da seção 5.3.

onde começa a surgir toda a Física". Logo em seguida, refletindo sobre as experiências da disciplina, nas quais os modelos dirigiam o delineamento dos experimentos, o aluno percebeu seu equívoco: *"Nunca tinha pensado assim. O meu caminho era um só: que a realidade constrói a teoria"*. O Estudante 6, aparentando possuir uma concepção de Ciência mais contemporânea que os outros três entrevistados, atribuiu aos experimentos da Física o papel de possibilitar o teste de hipóteses e o delineamento de novas tecnologias.

Em relação às ideias dos alunos sobre modelos, as entrevistas realizadas após a disciplina evidenciaram que eles estavam pouco seguros de suas concepções. O Estudante 12, por exemplo, disse: *"Um modelo pode ter como base uma teoria, mas pode ter como base um... [pausa] Eu estou falando o que me vem vindo na cabeça. Não são coisas consagradas para mim. Um modelo basicamente dá uma descrição matemática do que está havendo ali"*. A categorização das manifestações dos quatro estudantes entrevistados nos permitiu inferir que, além do Estudante 12, os estudantes 6 e 11 também entendem que modelos são estruturas matemáticas. O Estudante 6, por exemplo, afirmou: *"Um modelo... [pausa] eu diria que é mais uma parte ferramental dessa teoria, né? Talvez a parte mais matemática ou, se não for matemática, a ferramenta mais computacional"*. Apenas um dos entrevistados, o Estudante 7, destacou o caráter representacional dos modelos.

As manifestações dos quatro entrevistados que evidenciavam suas concepções sobre o termo "teoria" foram agrupadas em apenas uma categoria, pois todos eles compartilhavam a mesma concepção, entendendo que uma teoria é uma explicação para um fato específico. O Estudante 6, por exemplo, disse: *"Teoria é mais uma explicação para algum fato, uma observação"*. O Estudante 12 afirmou que *"uma teoria procura explicar a natureza de um fenômeno; o que está acontecendo"*.

Pôde-se perceber que o domínio do conteúdo de Física era crucial para que os alunos resolvessem os problemas propostos. Tal fato se refletiu nas entrevistas realizadas. Quando solicitados a resolverem um problema que envolvia a modelagem do movimento de um lustre que oscila, os dois entrevistados que apresentavam maior domínio do conteúdo envolvido no modelo de pêndulo simples propuseram soluções mais consistentes, assim como tiveram mais facilidade para apontarem as simplificações consideradas nesse modelo. Os outros dois entrevistados, que tinham menor domínio do conteúdo, apresentaram grandes dificuldades para modelarem o evento proposto.

Em suma, podemos concluir que a evolução das concepções dos estudantes sobre a natureza da Ciência não foi satisfatória. Nossa expectativa de que os estudantes naturalmente progrediriam em suas concepções sobre a natureza da Ciência sem a necessidade de que tais aspectos fossem tratados de forma explícita, devido às características das atividades que seriam conduzidas, não foi confirmada. Tal resultado é consistente com os trabalhos de Prins, Bulte & Pilot, (2011), Gobert et al. (2011), Lederman, Bartos e Lederman (2014), que argumentam que, para que os estudantes desenvolvam concepções de Ciência sofisticadas, atividades de ensino que tratem explicitamente de aspectos relacionados à natureza da Ciência são mais efetivas.

Pôde-se verificar também que os estudantes apresentavam grandes dificuldades para modelarem os eventos que iriam investigar. A escolha de simplificações para esses eventos que tornassem os problemas menos complexos, por exemplo, era uma tarefa complicada para os

estudantes. Foi evidente, no entanto, que essas dificuldades eram maiores para alunos que tinham menor domínio do conteúdo científico envolvido nos problemas.

5.5 Considerações gerais sobre o Estudo 1

Neste estudo, fizemos uma primeira avaliação de uma proposta para dar novo significado às atividades experimentais, focando-as no processo de modelagem científica. Os resultados evidenciam que, apesar dos alunos não terem atingido todos os objetivos de aprendizagem que esperávamos no início do estudo, as atividades conduzidas têm potencial para defrontar os estudantes com problemas cuja solução requer algumas competências associadas com o processo de modelagem científica. Além disso, o fato de 10 dos 12 estudantes que terminaram a disciplina afirmarem ter preferência por ciclos de modelagem em comparação com as atividades tradicionais é um aspecto que não pode ser desprezado e que evidencia que a metodologia de ensino empregada tem potencial também para tornar as atitudes dos estudantes mais positivas frente à aulas experimentais. Dos resultados relacionados com as duas primeiras questões de pesquisa deste estudo, pudemos levantar duas proposições teóricas que foram testadas no Estudo 2. São elas:

As atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas são frutíferas para:

- defrontar os estudantes com problemas abertos, dando liberdade para que eles realizem autênticas investigações, instando-os a dirigir esforços para dirimir suas curiosidades e dificuldades conceituais durante as aulas.
- estimular o pensamento científico, a criatividade e a intuição física por parte dos estudantes.

Cabe ressaltar que a proposta de atividade em que o domínio de validade de um modelo teórico apresentado é explorado pelos estudantes se mostrou uma alternativa interessante para enfatizar o caráter representacional dos modelos teóricos.

Apesar dos aspectos positivos apresentados, podemos destacar dois resultados insatisfatórios:

- Os estudantes apresentaram significativa dificuldade para delinear as investigações que iriam realizar nos ciclos de modelagem. Algumas possíveis causas são: i) em atividades experimentais anteriormente realizadas costumavam seguir acriticamente uma série rígida de passos; ii) não compreendiam suficientemente os modelos teóricos necessários para interpretar os dados experimentais, e/ou iii) não tinham noções mínimas sobre o processo de modelagem científica.
- As concepções dos estudantes sobre a natureza dos modelos e da modelagem científica permaneceram confusas após a disciplina. Refutando nossa hipótese inicial, em que julgávamos que as atividades desenvolvidas naturalmente levariam os alunos a compreenderem de forma satisfatória o processo de construção do conhecimento científico, esse resultado evidencia que o envolvimento dos alunos com problemas que abranjam o processo de modelagem científica não é suficiente para propiciar uma evolução nas suas concepções de Ciência. O tratamento explícito de aspectos relacionados com

metamodelagem é imprescindível para que os estudantes amadureçam suas concepções sobre a natureza dos modelos e da modelagem científica, o que corrobora resultados já expostos na literatura (e.g., LEDERMAN, 2006; PRINS, BULTE & PILOT, 2011; GOBERT et al., 2011;).

Refletindo sobre esses dois problemas, nos deparamos com duas perguntas importantes: O que podemos fazer para que nossos estudantes: i) tornem-se hábeis para modelarem eventos físicos? ii) evoluam em suas concepções sobre a natureza dos modelos e da modelagem científica? Para respondermos essas perguntas, precisamos ter clareza primeiramente dos conhecimentos – operatórios e predicativos – que os estudantes necessitam para enfrentar problemas que envolvam a modelagem de eventos reais e para construir concepções sobre a natureza dos modelos e da modelagem científica alinhadas com as concepções epistemológicas contemporâneas. Desse modo, nossas inquietações podem ser reformuladas: Que conhecimentos desejamos que nossos estudantes apreendam para que sejam competentes para modelar eventos reais? Que atividades têm potencial para possibilitar que os estudantes desenvolvam esses conhecimentos? Que concepções sobre a natureza da Ciência desejamos que os estudantes compreendam? Que atividades têm potencial para possibilitar que os estudantes compreendam essas concepções?

Procurando responder a essas questões, identificamos a necessidade de adotarmos um referencial teórico que nos fornecesse subsídios para estabelecermos os conhecimentos que desejamos que os estudantes assimilem com as atividades desenvolvidas no Estudo 2. Esses conhecimentos abrangem tanto o que se refere às competências necessárias para que os estudantes enfrentem tarefas experimentais como o que tange à concepção sobre o processo de modelagem científica que se deseja que eles compreendam durante as aulas. Frente a essa necessidade, optamos por adotar a Modelagem Didático-Científica Reflexiva como referencial teórico para o segundo estudo empírico. Tal decisão foi amparada principalmente em três motivos:

- I. A integração entre a teoria dos campos conceituais de Vergnaud e a concepção de modelagem científica de Bunge se mostrou bastante frutífera em estudos já realizados (e.g., BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2010; 2012; 2014);
- II. Os ciclos de modelagem possibilitaram que os estudantes compreendessem que as diferenças entre resultados preditos por modelos e dados experimentais são inevitáveis. Sob o ponto de vista das ideias de Vergnaud, pode-se entender que os ciclos de modelagem conduzidos apresentam potencial para promoverem situações que possibilitem que os estudantes ampliem seus domínios sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica;
- III. Apesar de timidamente, as habilidades dos estudantes para resolverem problemas evoluíram na medida em que os ciclos de modelagem eram desenvolvidos. As dificuldades dos estudantes para, por exemplo, delinearem seus experimentos, apesar de se manterem significativas ao final da disciplina, foram atenuadas. É possível se compreender tal fato partindo do pressuposto de que existem esquemas de ação relacionados com o processo de modelagem científica em Física que precisam ser desenvolvidas para que os alunos

resolvam problemas abertos, e que esses esquemas envolvem o uso de invariantes operatórios pertencentes a campos conceituais específicos subjacentes aos campos conceituais da Física, como o campo conceitual da modelagem didático-científica. A aprendizagem desses campos conceituais demanda tempo e a confrontação com uma série de situações.

Amparados na Modelagem Didático-Científica Reflexiva, definimos os objetivos particulares das atividades desenvolvidas no Estudo 2, especificando os conhecimentos que desejávamos que os estudantes aprendessem. Com esses objetivos, que serão apresentados no próximo capítulo com a denominação de “objetivos de aprendizagem”, as atividades foram conduzidas com mais clareza pelo docente da disciplina, sendo orientadas para que os estudantes atingissem essas metas. Além disso, os objetivos de aprendizagem foram compartilhados com os estudantes possibilitando que eles planejassem suas ações para alcançá-los. Por fim, durante a condução das aulas do segundo estudo empírico, passamos a realizar debates em que eram tratados explicitamente os aspectos centrais da concepção epistemológica de Bunge. Desse modo, podemos resumir as hipóteses levantadas a partir da realização do Estudo 1 em dois itens:

- O estabelecimento explícito dos conhecimentos que se deseja que os estudantes aprendam agrega clareza ao trabalho do professor permitindo que ele regule melhor suas práticas e, quando compartilhados com os alunos, possibilita que eles direcionem suas ações para alcançarem as metas das atividades.
- O desenvolvimento de debates com os estudantes em que sejam tratados explicitamente aspectos sobre metamodelagem contribui para que os estudantes construam concepções sobre a natureza dos modelos e do processo de modelagem científica alinhadas com as concepções epistemológicas contemporâneas.

Essas duas hipóteses dirigiram a construção das proposições teóricas testadas no Estudo 2, segundo estudo empírico desta tese, cujo delineamento, condução e resultados são apresentados detalhadamente no próximo capítulo.

6. Estudo 2

As questões e proposições levantadas a partir do Estudo 1 tornaram latente a necessidade de realização de um novo estudo em que fossem promovidas mudanças tanto na estrutura das atividades conduzidas, focando-as em objetivos de aprendizagem vinculados com o processo de modelagem científica, como na análise dos seus resultados, voltando-as para uma avaliação do domínio dos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica. Procurando sanar essa necessidade, apresentamos nas próximas seções os detalhes do delineamento e dos resultados do Estudo 2.

6.1 Características do estudo

Após a fase exploratória da investigação com o Estudo 1, optamos no Estudo 2 por estreitar a abrangência da pesquisa e investir em sua profundidade. Para tanto, as questões de pesquisa do Estudo 1 relacionadas a crenças e atitudes dos estudantes sobre atividades experimentais em um âmbito geral, restringiram-se àquelas associadas a atividades focadas no processo de modelagem científica.

Já a adoção da Modelagem Didático-Científica Reflexiva como referencial teórico-metodológico no Estudo 2, levou-nos a investigar outros aspectos vinculados ao enfrentamento de situações do campo conceitual da modelagem didático-científica, ampliando a questão de pesquisa do Estudo 1, que tratava da capacidade dos alunos de relacionar os modelos teóricos da Física, o processo de modelagem científica e a experimentação. Por essas razões, as questões de pesquisa do Estudo 2 passaram a ser as seguintes:

Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam:

- *as crenças²⁹ e atitudes dos estudantes em relação às atividades experimentais?*
- *o domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica por parte dos estudantes?*

Seguindo as orientações de Yin (2005), construímos, para cada uma dessas questões de pesquisa, proposições teóricas a serem avaliadas por meio de múltiplos instrumentos de coleta de dados confeccionados com vistas a fornecer evidências que dessem apoio empírico a elas. Antes de apresentar os procedimentos metodológicos da coleta de dados, na seção 6.4, passamos a descrever os participantes do Estudo 2 (seção 6.2) e a metodologia de ensino implementada (seção 6.3).

6.2 Participantes do estudo

O caso investigado no Estudo 2 foi a turma matutina da disciplina “Física Experimental II – A” matriculada no semestre 2013/1. Decidimos que participariam do estudo todos os alunos

²⁹ O termo “crença” é utilizado nesta tese para designar os conhecimentos dos estudantes que moldam suas atitudes. Por sua vez, “atitudes”, como foi mencionado no Estudo 1, são entendidas como disposições que refletem o sentimento dos estudantes para responder favorável ou desfavoravelmente frente a um objeto, pessoa, instituição ou evento. Mais detalhes sobre os significados atribuídos aos termos “crenças” e “atitudes” nesta pesquisa são apresentados em Heidemann, Araujo e Veit (2011).

matriculados na turma que tivessem, no mínimo, 50% de presença e entregue, pelo menos, dois dos seis relatórios experimentais solicitados na disciplina. Esse critério eliminou dois dos sete alunos matriculados. Procurando realizar um estudo de caso incorporado, baseado em análises cruzadas dos resultados alcançados por cada um dos estudantes, definimos que cada um dos cinco alunos participantes do estudo constituiu uma unidade de análise. Eram três mulheres e dois homens, cujas idades variavam de 18 a 23 anos, sendo 20,6 anos a idade média. Uma descrição desses alunos é apresentada sinteticamente no Quadro 6.1.

Na próxima seção, detalharemos a estrutura da disciplina ministrada e a metodologia de ensino utilizado.

6.3 Metodologia de ensino

A disciplina ministrada neste estudo contou com 18 aulas, uma por semana, de 1 hora e 40 minutos. Elas foram divididas em: i) quatro atividades com enfoque no processo de modelagem científica (*atividades de modelagem*); ii) duas *atividades experimentais*; e iii) quatro *demonstrações experimentais*. A primeira aula foi reservada para que os alunos respondessem um teste inicial da pesquisa e para a realização da apresentação da proposta de ensino da disciplina. Doze aulas foram usadas para a realização das quatro atividades de modelagem. O cronograma da disciplina está sintetizado no Quadro 6.2. Diferentemente do ocorrido no Estudo 1, onde o pesquisador realizou também o papel de professor da disciplina, o ministrante no Estudo 2 é uma professora do IF-UFRGS. Tal decisão foi tomada para que o pesquisador pudesse concentrar seu foco na coleta de dados.

Três das quatro atividades de modelagem conduzidas neste estudo são versões reformuladas de atividades já realizados no Estudo 1. Dois aspectos as diferenciam substancialmente dos ciclos de modelagem anteriores: i) foram conduzidos debates com os estudantes que tratavam explicitamente dos principais aspectos do processo de modelagem científica, segundo a concepção de Bunge, e ii) foram definidos e compartilhados com os estudantes os conhecimentos que desejávamos que eles desenvolvessem durante as atividades realizadas.

Julgamos que, especialmente em decorrência do estabelecimento de objetivos de aprendizagem: i) a professora da disciplina poderia ajustar suas ações especificamente para favorecer a apropriação por parte dos estudantes dos conhecimentos estabelecidos nos objetivos de aprendizagem, e ii) os estudantes poderiam regular suas ações para alcançarem esses objetivos. No que segue, após expormos os enunciados das atividades realizadas (Quadro 6.3) e as suas características mais significativas, apresentaremos os objetivos de aprendizagem gerais (Quadro 6.4) e específicos (Quadro 6.5) de cada atividade de modelagem conduzida.

No Estudo 2, as atividades de modelagem também foram realizadas em três etapas: 1^a) *discussão inicial*; 2^a) *investigação*; e 3^a) *discussão final*. Mantivemos também o caráter “aberto” das atividades e o uso dos pequenos quadros brancos para que os estudantes compartilhassem ideias durante as investigações e para que eles debatesses sobre seus resultados nas discussões finais. Sobre a bancada do laboratório, foram dispostos diversos objetos e instrumentos, sendo dada

liberdade aos estudantes para escolherem os que utilizariam nos seus experimentos. Como exemplo, a Figura 6.1 ilustra os materiais expostos aos estudantes durante a atividade intitulada “Sistema de Amortecimento Automotivo”.

Quadro 6.1 – Descrição sintética dos estudantes participantes do Estudo 2.

Estudante	Idade	Sexo	Curso	Breve Histórico
1	18 anos	Feminino	Bacharelado em Física com ênfase em Física Computacional	Primeira vez que cursou Física Experimental II. Até o semestre da investigação, cursou 14 disciplinas tendo duas reprovações, mas também quatro conceitos A e oito conceitos B. Obteve o conceito A em “Física Geral II”, que é a disciplina teórica que trata dos conteúdos de Física envolvidos na “Física Experimental II”. Cursou a Educação Básica em escola pública, onde não teve oportunidade de realizar atividades experimentais.
2	23 anos	Masculino	Bacharelado em Física com ênfase em Astrofísica	Primeira vez que cursou Física Experimental II. Bacharel em Química pela UFRGS, solicitou e obteve equivalência de todas as outras disciplinas experimentais do curso de Física, assim como todas as disciplinas de Física Geral. Simultaneamente ao bacharelado em Física, cursava mestrado em Química. No Ensino Médio, fez curso técnico em Química, onde realizava atividades de laboratório com frequência.
3	22 anos	Feminino	Bacharelado em Física com ênfase em Astrofísica	Em 2009 e 2010, cursou bacharelado em Letras onde foi reprovada por falta de frequência em oito das 10 disciplinas cursadas. Era repetente também na disciplina Física Experimental II. Na primeira vez que cursou, sendo participante do Estudo 1, foi reprovada por falta de frequência. Foi reprovada também duas vezes em Física Geral II e, posteriormente, aprovada com conceito C no semestre em que participou do Estudo 2. Entregou todas as tarefas solicitadas na disciplina com grandes atrasos. Trocou de curso para Design no semestre 2014/1. Cursou a Educação Básica em escola particular, onde não teve oportunidade de realizar atividades experimentais.
4	21 anos	Masculino	Licenciatura em Física	Primeira vez que cursou Física Experimental II. Até o semestre da investigação, cursou 28 disciplinas tendo 10 reprovações, sendo quatro por falta de frequência. Foi reprovado em Física Geral II no semestre em que participou da pesquisa. Cursou a Educação Básica em escola pública, onde não teve oportunidade de realizar atividades experimentais.
5	19 anos	Feminino	Licenciatura em Física	Fez cinco disciplinas do curso de Medicina Veterinária no semestre 2011/2, sendo reprovada em três delas. Primeira vez que cursou Física Experimental II. Foi aprovada em Física Geral II com conceito C na primeira vez em que a cursou. No semestre seguinte à investigação, trocou de curso: saiu da licenciatura em Física e foi para o bacharelado em Física com ênfase em Nanotecnologia. Cursou a Educação Básica em escola pública, onde teve oportunidade de realizar atividades experimentais que julga bastante positivas.

Quadro 6.2 – Cronograma desenvolvido na disciplina conduzida no Estudo 2.

Aulas	Atividade
1	Apresentação da disciplina e questionário inicial
2, 3 e 4	Atividade de Modelagem “Pêndulos”
5, 6 e 7	Atividade de Modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”
8	Demonstração com túnel de vento e Experimento de Cavendish
9 e 10	Atividade de Modelagem “Arquimedes e a Coroa do Rei”
11, 12, 13 e 14	Atividade de Modelagem “Resfriamento de Sistemas”
15	Experimento para a medida do calor latente de evaporação do nitrogênio líquido
16	Demonstrações sobre dilatação térmica e pós-teste
17	Demonstração sobre ondas estacionárias e sobre máquinas térmicas
18	Discussão sobre as respostas dos estudantes ao questionário final



Figura 6.1 – Materiais disponibilizados aos alunos na atividade sobre o sistema de amortecimento automotivo.

Uma diferença importante entre as atividades desenvolvidas no primeiro e no segundo estudo refere-se ao papel da professora na discussão final. No Estudo 2, após o debate sobre os resultados obtidos pelos grupos de alunos, a professora fazia uma exposição³⁰ apresentando uma solução possível para o problema proposto, promovendo uma discussão sobre o modelo teórico utilizado nessa solução, destacando as idealizações, as aproximações e os objetos da realidade considerados no modelo, assim como a teoria geral utilizada. O objetivo dessas apresentações era promover debates explícitos sobre os conceitos envolvidos no processo de modelagem científica.

Incorporamos também o uso de cadernos de laboratório por parte dos estudantes. De modo semelhante ao que é feito pelos físicos quando desenvolvem experimentos científicos, o propósito desse caderno foi o de proporcionar aos alunos um registro dos procedimentos realizados e também da autocrítica sobre os erros cometidos, possibilitando que eles, em situações futuras, pudessem reproduzir os experimentos sem incorrer nos mesmos equívocos. Além disso, esse caderno foi utilizado para que os alunos apresentassem, antes de começarem suas investigações, o planejamento de suas atividades à professora, que o avaliava segundo dois critérios:

³⁰ As apresentações de *slides* utilizadas no início e no final das atividades de modelagem estão disponíveis em: http://www.if.ufrgs.br/gpef/modelagem/Fis_II_A_2013/. Acesso em: 20/02/2015.

- i) *Exequibilidade*: A avaliação da exequibilidade das investigações planejadas pelos estudantes frente às condições que eles dispõem é fundamental. É comum que os estudantes se proponham, por exemplo, a desenvolver uma investigação cujo tempo necessário para sua execução supera os limites estabelecidos para a atividade.
- ii) *Consistência*: O planejamento da atividade deve estabelecer claramente a questão a ser investigada, as hipóteses consideradas e os dados que permitirão testá-las. É importante que seja avaliado se os estudantes preveem estudos em que eles avaliem a influência no evento investigado de apenas uma variável por vez, possibilitando que eles possam conectar causas e efeitos.

Para que os alunos fossem autorizados a começar as suas investigações, eles precisavam ter seus planejamentos aprovados. Caso contrário, promoviam modificações no delineamento de suas investigações e, após, reapresentavam-no à professora, até que o planejamento fosse aprovado.

Assim como no Estudo 1, as atividades conduzidas, incluindo-se a nova atividade que delineamos para esse estudo, denominada “Sistema de Amortecimento Automotivo”, foram concebidas com o intuito de envolver os estudantes com aspectos importantes da modelagem científica, segundo Bunge. No Quadro 6.3, apresentamos os enunciados propostos para as atividades de modelagem conduzidas.

Devido ao potencial que o modelo explorado na atividade de modelagem intitulada “Pêndulos” tem para evidenciar o caráter representacional dos modelos teóricos, escolhemo-la para começar a disciplina. Desse modo, a apresentação do modelo investigado, que foi realizada pela professora no início da atividade, foi conduzida de modo que ela fosse o foco do primeiro debate explícito sobre metamodelagem, envolvendo os significados dos conceitos mais importantes do campo conceitual da modelagem didático-científica como, por exemplo, de idealização e de aproximação. Com o intuito de simplificar os debates, não usamos o termo “referente” durante as aulas da disciplina, mas enfatizamos a distinção entre os objetos da realidade considerados nos modelos e suas propriedades, que são construções humanas. Tampouco foi nossa intenção que os alunos diferenciassem os conceitos de “idealização” e “aproximação”. Simplesmente nos focamos em destacar que tais termos se referem às simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos.

A segunda atividade de modelagem foi intitulada “Sistema de Amortecimento Automotivo”. Ao término da discussão final da primeira atividade, foi solicitado que os estudantes elaborassem uma proposta de experimento de laboratório que possibilitasse uma melhor compreensão do sistema de amortecimento de um carro. Debatendo as ideias apresentadas pelos estudantes, propusemos, na apresentação da atividade, que os alunos explorassem o comportamento de um sistema massa-mola amortecido. Um dos propósitos desse processo foi ressaltar aos estudantes que os experimentos de laboratório se constituem em eventos controlados construídos com base em um modelo teórico de referência. Além disso, pretendia-se relacionar o movimento de um corpo imerso em um fluido com o movimento de um pêndulo, investigado na primeira atividade de ensino.

Quadro 6.3 – Enunciados das atividades de modelagem realizadas no Estudo 2.

Atividade de Modelagem	Enunciado
Pêndulos	<p>Até que ponto podemos dizer que a amplitude de um pêndulo é pequena? Quando podemos dizer que as dimensões do corpo suspenso são desprezíveis? Até que ponto a força de arrasto com o ar influencia no período de um pêndulo? Quando podemos dizer que a massa do fio de sustentação é desprezível?</p> <p>Nesta tarefa exploraremos o contexto de validade do modelo de pêndulo simples. Para isso, queremos que vocês explorem os limites nos quais a diferença entre o período predito por meio do modelo de pêndulo simples e o período de pêndulos reais é menor do que 5%.</p>
Sistema de Amortecimento Automotivo (inserida no Estudo 2)	<p>Que características devem ter os componentes do sistema de amortecimento de um automóvel? Como essas características influenciam nesse sistema? Quais os principais fatores que influenciam no amortecimento da oscilação de um corpo suspenso por uma mola que se move imerso em um fluido? Como esses fatores influenciam na oscilação desse corpo? Do que dependem esses fatores?</p>
Arquimedes e a Coroa do Rei	<p>Diz a lenda que Arquimedes, a mando do rei Hieron II de Siracusa, teria concluído que a coroa real, supostamente produzida apenas com ouro puro, continha uma parcela de prata em sua composição. Arquimedes teria descoberto o princípio que leva seu nome durante um banho, no qual teria visto o nível da água subir enquanto mergulhava seu corpo nela. Apesar da veracidade de tal relato ser profundamente questionada por historiadores da Ciência, o método que Arquimedes supostamente utilizou para avaliar a composição da coroa do rei é utilizado até hoje em bons laboratórios de Física.</p> <p>Nesta tarefa, você deverá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • avaliar a composição de um objeto que contém chumbo e alumínio por meio de dois métodos experimentais distintos buscando comparar a precisão dos resultados obtidos com cada um deles; • analisar quais as idealizações e aproximações que foram consideradas no modelo teórico que utilizarás; • buscar avaliar a plausibilidade física da lenda de Arquimedes.
Resfriamento de sistemas	<p>Os dados do gráfico abaixo apresentam medidas de temperatura de dois pratos cheios de água (um deles aberto e outro fechado) em função do tempo. Também é apresentada a temperatura ambiente do local onde o experimento foi realizado.</p> <div data-bbox="518 1276 1372 1803" style="text-align: center;"> <p>O gráfico mostra a temperatura em graus Celsius (eixo Y, de 20 a 65) versus o tempo em minutos (eixo X, de 0 a 1000). Há três séries de dados: temperatura ambiente (marcadas com 'x'), temperatura da água no prato aberto (marcadas com 'Δ') e temperatura da água no prato fechado (marcadas com 'o'). A temperatura ambiente permanece constante em aproximadamente 26°C. A temperatura da água no prato aberto começa em 45°C e decai exponencialmente em direção à temperatura ambiente. A temperatura da água no prato fechado começa em 60°C e também decai exponencialmente em direção à temperatura ambiente.</p> </div> <p>No dia em que foi realizado o experimento (início de janeiro em Porto Alegre/RS) a umidade relativa era de 70%. O local onde os dois pratos ficavam era próximo de uma janela que estava aberta. Assim sendo, também havia uma pequena corrente de ar no local. Nesta atividade você deverá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • procurar um modelo teórico que explique a evolução temporal da temperatura da água contida no prato aberto do experimento representado no gráfico acima. • realizar um experimento para avaliar o poder preditivo desse modelo.

Aproveitando os conhecimentos desenvolvidos pelos estudantes sobre movimentos oscilatórios e forças resistivas em fluidos, foram conduzidas, antes da realização da terceira atividade de modelagem, demonstrações com um túnel de vento onde foram avaliadas forças resistivas sobre diferentes corpos submetidos a uma corrente de ar aproximadamente uniforme. Ainda antes da terceira atividade de modelagem os estudantes realizaram o experimento de Cavendish³¹.

Com a terceira atividade de modelagem, intitulada “Arquimedes e a Coroa do Rei”, pretendia-se enfatizar a influência dos modelos teóricos e dos instrumentos de medida na qualidade de dados experimentais. Para isso, esperava-se que os estudantes investigassem a lenda frequentemente presente nos livros didáticos que afirma que Arquimedes teria descoberto o princípio que leva seu nome durante um banho, no qual teria visto o nível da água subir enquanto mergulhava seu corpo nela (MARTINS, 2000).

A última atividade de modelagem da disciplina, intitulada “Resfriamento de Sistemas”, envolveu um problema bastante complexo em que, por meio de um experimento contra intuitivo³², buscava-se ressaltar que os modelos teóricos apresentam um domínio de validade e que eles podem ser expandidos para explicarem novos eventos físicos. Após essa atividade de modelagem, possibilitando o emprego dos conhecimentos desenvolvidos pelos estudantes sobre evaporação de fluidos, programamos a realização de um experimento em que são coletadas medidas do calor latente de evaporação do nitrogênio líquido.

Dois demonstrações foram realizadas nas últimas aulas da disciplina. Na primeira delas, foram medidas as dilatações de barras de cobre, alumínio e aço quando aquecidas. Na segunda, relacionamos o comprimento de onda de uma onda estacionária produzida em uma corda com a tensão exercida na mesma. Ainda foi realizada uma discussão sobre motores térmicos baseada em pequenos protótipos de motores cujo funcionamento foi representado pelo ciclo Otto e o ciclo Diesel. Por fim, foi realizada uma discussão com os estudantes sobre suas respostas apresentadas ao questionário final da pesquisa.

Frente às características das atividades de modelagem conduzidas no Estudo 2, sintetizamos os objetivos gerais que justificavam e norteavam cada uma das atividades de modelagem no Quadro 6.4.

Como já mencionamos, além dos objetivos gerais expostos no Quadro 6.4, definimos os conhecimentos específicos que desejávamos que os estudantes desenvolvessem em cada atividade de modelagem. Para isso, nos amparamos nos conhecimentos que, segundo a Modelagem Didático-Científica Reflexiva, sustentam os esquemas de ação utilizados no enfrentamento de situações do campo conceitual da modelagem didático-científica. Em outras palavras, para estabelecermos os objetivos de aprendizagem das atividades realizadas, nos baseamos nos invariantes operatórios de

³¹ O roteiro dessa atividade, que foi desenvolvida nos seus moldes tradicionais, está disponível em: http://www.if.ufrgs.br/gpef/modelagem/Fis_II_A_2012/. Acesso em: 20/02/2015.

³² Frequentemente, estudantes acreditam que um corpo que resfria sempre entrará em equilíbrio térmico com o ambiente em que ele está imerso. A situação-problema proposta na atividade “Resfriamento de Sistemas” envolve o resfriamento de uma porção de água que alcança uma temperatura menor que a temperatura ambiente sem que haja qualquer sistema de refrigeração artificial.

referência do campo conceitual da modelagem didático-científica. No Quadro 6.5, sintetizamos os objetivos de aprendizagem de cada uma das atividades de modelagem realizadas.

Quadro 6.4 – Objetivos gerais das atividades de modelagem desenvolvidas no Estudo 2.

Atividade de Modelagem	Objetivo Geral
Pêndulos	Evidenciar o caráter representacional dos modelos teóricos da Física , enfatizando que o grau de precisão e o domínio de validade desses modelos dependem das simplificações da realidade consideradas.
Sistema de Amortecimento Automotivo	Evidenciar que os modelos teóricos da Física são construções com o propósito de representar eventos reais , ou supostos como tais, e que as simplificações da realidade consideradas nesses modelos influenciam fortemente o delineamento de experimentos, pois procuramos utilizar arranjos experimentais onde os aspectos desconsiderados no modelo teórico de referência influenciam minimamente.
Arquimedes e a Coroa do Rei	Evidenciar que o ato de medir pressupõe o uso de um modelo teórico e que a escolha desse modelo influencia diretamente na precisão das medidas.
Resfriamento de Sistemas	Evidenciar que quando o grau de precisão de um modelo teórico é insuficiente os modelos podem ser modificados por meio de alterações nas simplificações da realidade consideradas e/ou na teoria geral que o ampara.

Quadro 6.5 – Objetivos de aprendizagem das atividades de modelagem desenvolvidas no Estudo 2.

Atividade de Modelagem	Objetivos de Aprendizagem: O estudante deverá ser capaz de...
Pêndulos	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar situações em que os resultados teóricos fornecidos pelo modelo não coincidem com o comportamento do sistema físico dentro de uma margem de erro tolerável, pré-estabelecida. • Dada uma idealização/aproximação, avaliar qualitativa e/ou quantitativamente a incerteza introduzida por ela nas previsões do modelo em comparação com resultados experimentais ou teóricos. • Formular questões sobre uma situação física a serem respondidas pela construção e/ou exploração de um modelo científico.
Sistema de Amortecimento Automotivo	<ul style="list-style-type: none"> • Representar a situação física de modo esquemático e à luz de algum campo conceitual específico da Física. • Delimitar objetos e eventos reais, ou supostos como tais, que compõem o sistema físico e sua vizinhança e que serão alvo de representação. • Dado um sistema físico, decidir quais dos seus traços-chave apreender. • Dado um sistema físico previamente idealizado, decidir quais simplificações matemáticas serão assumidas, tais como: considerar relações lineares, desprezar ruídos etc.
Arquimedes e a Coroa do Rei	<ul style="list-style-type: none"> • Representar a situação física de modo esquemático e à luz de algum campo conceitual específico da Física. • Delimitar objetos e eventos reais, ou supostos como tais, que compõem o sistema físico e sua vizinhança, e que serão alvo de representação. • Dado um sistema físico, decidir quais dos seus traços-chave apreender. • Dado um sistema físico previamente idealizado, decidir quais simplificações matemáticas serão assumidas, tais como: considerar relações lineares, desprezar ruídos, etc.
Resfriamento de Sistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Representar a situação física de modo esquemático e à luz de algum campo conceitual específico da Física. • Expandir os modelos, incluindo novos referentes, variáveis, parâmetros, relações e conceitos físicos a fim de obter resultados mais precisos e/ou melhor interpretáveis com o modelo. • Dado um sistema físico previamente idealizado, decidir quais simplificações matemáticas serão assumidas, tais como: considerar relações lineares, desprezar ruídos, etc.

Na próxima seção, apresentamos os procedimentos metodológicos do Estudo 2, destacando os instrumentos de coletas de dados utilizados.

6.4 Procedimentos metodológicos de investigação

Assim como fizemos no Estudo 1, seguindo as recomendações de Yin (2005), delineamos as múltiplas fontes de evidência do estudo baseando-nos sempre em uma lógica que uniria os dados coletados com as proposições teóricas que seriam testadas. Por exemplo, usamos as filmagens das discussões finais das atividades realizadas como fontes de evidência para avaliarmos a seguinte proposição teórica: *atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes desenvolvam conhecimentos relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica*. O uso da referida fonte de evidência para avaliar essa proposição baseava-se na lógica de que, se os alunos desenvolvessem conhecimentos relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica, eles fariam manifestações demonstrando ter empregado esquemas de ação para enfrentar as situações propostas utilizando conceitos e teoremas desse campo conceitual. Analisando as proposições teóricas que desejávamos avaliar, estabelecemos as seguintes fontes de evidência para o Estudo 2:

a) dois questionários aplicados como testes iniciais (Apêndices E e F). O primeiro deles, que chamaremos de Questionário 1, foi respondido pelos estudantes presencialmente na primeira aula da disciplina. Com ele, procuramos avaliar o domínio dos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica. O segundo questionário, que chamaremos de Questionário 2, foi respondido *online* pelos estudantes na primeira semana de aula em horário extraclasse. Nele, os estudantes manifestaram, entre outras coisas, suas experiências em disciplinas experimentais e suas expectativas para a disciplina que se iniciava, o que possibilitou uma melhor compreensão sobre suas crenças sobre atividades experimentais. Além disso, eles apontaram seus níveis de concordância com uma série de afirmativas que possibilitavam inferências sobre as suas atitudes em relação às aulas experimentais;

b) dois questionários aplicados como testes finais. O primeiro deles, idêntico ao Questionário 1, foi respondido presencialmente pelos estudantes no penúltimo dia de aula da disciplina. O segundo, uma variante do Questionário 2, foi aplicado no último dia de aula. As diferenças entre o questionários aplicados no início e no final da disciplina são destacadas no Apêndice F. A principal delas se refere à questão 4, utilizada para se mensurar as atitudes dos estudantes. No teste final, ela foi desmembrada, surgindo uma questão 5, com o objetivo de possibilitar que os alunos expressassem suas opiniões: i) sobre atividades experimentais tradicionais; e ii) sobre as atividades de modelagem realizadas na disciplina. A decisão de realizar tais mensurações com dois conjuntos de afirmativas foi tomada em função dos problemas enfrentados no Estudo 1 quando procuramos medir a atitude dos estudantes em relação aos ciclos de modelagem (veja a Seção 5.4.1);

c) filmagens das discussões finais;

d) relatórios produzidos pelos alunos sobre cada uma das atividades realizadas. Um documento contendo instruções para a confecção de relatórios (Apêndice G) foi entregue aos estudantes no quarto dia de aula;

e) gravações de entrevistas semiestruturadas realizadas com os estudantes seis meses após o final da disciplina. Essas gravações e as filmagens das discussões finais possibilitaram a coleta de dados sobre as ações dos estudantes em situação. O guia das entrevistas é apresentado no Apêndice H.

Baseados nos dados coletados com as fontes de evidências expostas apresentamos na próxima seção os resultados do Estudo 2.

6.5 Resultados

Com o intuito de tornar clara a exposição dos resultados, mantivemos a dinâmica adotada na redação do Estudo 1 apresentando-os divididos em seções que abordam cada uma das questões de pesquisa. Mantivemos também a opção de, para cada uma das questões, especificar primeiramente as proposições teóricas avaliadas e, de imediato, passamos às evidências coletadas a seu respeito.

6.5.1 Como as atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas influenciaram as crenças e as atitudes dos estudantes em relação às atividades experimentais?

Proposições teóricas: Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes construam atitudes mais positivas em relação a atividades experimentais, em decorrência da adoção de crenças que salientam os aspectos positivos dessas atividades. A adoção dessas crenças ocorre porque as atividades são frutíferas para defrontar os estudantes com problemas abertos, dando liberdade para que eles realizem autênticas investigações e que dirijam seus esforços para dirimirem suas curiosidades e dificuldades conceituais durante as aulas.

Assim como foi feito no Estudo 1, os níveis de concordância dos estudantes com as oito afirmativas expostas na Questão 4 e 5 do Questionário 2 (Apêndice F) foram analisadas com base nas orientações metodológicas de Ajzen (HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2012). Atribuindo os índices 1, 2, 3, 4 e 5 para as respostas “discordo fortemente”, “discordo”, “indeciso ou sem opinião”, “concordo” e “concordo fortemente”, respectivamente, mensuramos as atitudes dos participantes por meio do somatório desses índices agregando o sinal negativo na conversão das concordâncias dos estudantes para as afirmativas que evidenciam um sentimento desfavorável frente às atividades

experimentais. Procurando facilitar a interpretação dos dados coletados, normalizamos as atitudes mensuradas para valores entre 0 e 10.

Como já mencionado na seção 6.4, a Questão 5 do Questionário 2, que questiona os estudantes sobre seus sentimentos sobre as atividades com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2, foi proposta aos estudantes somente ao final da disciplina, possibilitando uma mensuração das suas atitudes especificamente em relação às atividades que eles realizaram nesta investigação. Já a Questão 4, usada para medir a atitude dos estudantes frente às atividades de laboratório em um âmbito geral, considerando as realizadas durante ou antes do Estudo 2, foi apresentada aos estudantes tanto no início como no final da disciplina, possibilitando a contrastação das suas atitudes antes e depois da investigação. Com o intuito de avaliar a validade interna dessas questões, calculamos o coeficiente de fidedignidade alfa de Cronbach (FIELD, 2009) a partir das concordâncias dos estudantes com as afirmativas. O valor de 0,830 evidencia que o conjunto de afirmativas efetivamente mede um mesmo construto. A Tabela 6.1 sintetiza os valores obtidos, em uma escala de 0 a 10, para as atitudes dos alunos em relação às atividades experimentais tradicionais (no início e no final da disciplina) e em relação às atividades de modelagem realizadas na disciplina (medidas apenas no final da disciplina).

Tabela 6.1 – Atitudes dos participantes do Estudo 2 em relação às atividades experimentais tradicionais e às atividades de modelagem desenvolvidas no estudo.

Estudante	Teste Inicial ³³	Teste Final	
	Atitude em relação às atividades experimentais tradicionais	Atitude em relação às atividades experimentais tradicionais	Atitude em relação às atividades de modelagem
1	7,5	6,2	8,1
2	6,6	7,5	6,2
3	-	3,4	6,9
4	7,2	10,0	7,8
5	9,1	8,4	9,7
Média	7,6	7,1	7,8

Usando o teste de Wilcoxon pareado (FIELD, 2009) para contrastar as medidas expostas na Tabela 6.1, não detectamos diferenças estatisticamente significativas entre as atitudes dos estudantes antes e depois da disciplina, assim como entre as atitudes em relação às atividades experimentais tradicionais e às atividades de modelagem mensuradas ao final da disciplina. Os resultados mostram uma divisão de opiniões: os estudantes 1, 3 e 5 manifestaram atitudes positivas em relação às atividades de modelagem enquanto que os alunos 2 e 4 mostraram preferir atividades tradicionais. Procurando aprofundar a análise sobre as crenças e as atitudes dos estudantes frente às atividades experimentais, apresentaremos no que segue uma avaliação específica sobre cada unidade de análise que compôs o caso investigado no Estudo 2, ou seja, sobre cada estudante que constituiu a turma da disciplina “Física Experimental II – A” analisada.

³³ Ainda que o pesquisador tenha solicitado diversas vezes que os estudantes respondessem o Questionário 2 no início da disciplina, a Estudante 3 não respondeu.

Estudante 1

A análise das atitudes da Estudante 1, cuja breve descrição é apresentada no Quadro 6.1, demonstra que ao final da disciplina ela apresentava atitude mais positiva em relação às atividades com enfoque no processo de modelagem científica, com valor de 8,1, do que em relação às atividades experimentais, cuja atitude foi mensurada em 6,2. Corroborando tal conclusão, a análise qualitativa da entrevista realizada com a estudante e das suas respostas no Questionário 2 possibilitou a detecção de categorias de manifestações em que ela dirige críticas às atividades experimentais tradicionais e elogios às atividades com enfoque no processo de modelagem científica. Referindo-se às atividades tradicionais, ela disse em entrevista: *“É que tu aprende, decora os negócios lá, e depois tu nem sabe pra que tu vai usar”*. Sobre as atividades com enfoque na modelagem científica, ela se manifestou no Questionário 2 argumentando que *“a vantagem disso [do enfoque no processo de modelagem] é que se aprende mais e acaba sendo algo mais desafiador. Sendo, portanto, mais legal”*. Procurando compreender os motivos que levam a Estudante 1 a apresentar sentimento mais favorável em relação às atividades com enfoque na modelagem científica, analisamos as suas crenças.

O aspecto que foi mais valorizado como uma das vantagens das atividades de modelagem para a Estudante 1 é a ênfase dada para as relações entre os modelos da Física e eventos cotidianos. Ela disse em entrevista: *“O legal foi que vocês tentaram, tipo, levar um pouco mais para a vida real, que nem do carro [destacando as relações entre o modelo de movimento harmônico amortecido e o movimento de automóveis destacadas na atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”]. Essas coisas... Foi legal. Eu gostei”*. Em outro momento da entrevista, ela complementa seu raciocínio afirmando: *“Tu vê mais a importância que aquilo vai ser importante mesmo, porque se aplica, daí tu te dedica mais”*. Quando questionada se suas expectativas foram atingidas na disciplina, ela afirmou que foram, argumentando que sua *“expectativa era de ver na prática a teoria e principalmente, entendê-la melhor, e de fato foi isso que aconteceu”*.

Pôde-se concluir das manifestações da Estudante 1 que ela compartilha da crença de que o sentido das atividades experimentais é evidenciar as relações entre os conteúdos científicos e os eventos reais. Em função disso, essa aluna entende que deve existir uma sincronia entre as aulas teóricas e as experimentais no curso de Física. Tal concepção foi exposta já no questionário inicial da pesquisa, quando ela sugeriu mudanças para as disciplinas experimentais dizendo: *“O mais importante seria manter uma sincronia com o que está sendo visto nas aulas teóricas e executar ao menos um experimento de cada área”*. No teste final, argumento semelhante foi identificado: *“O experimento poderia ser sempre referente ao conteúdo que está sendo visto na física teórica”*.

A liberdade que os estudantes tinham para tomar decisões é tratada pela Estudante 1, simultaneamente, como uma vantagem e como uma desvantagem das atividades de modelagem. Por um lado, ela entende que essa liberdade responsabiliza os estudantes por suas ações: *“A vantagem de tu ser mais liberal é que tu mais ou menos vê a parte que tu gosta mais, e tu vai mais atrás procurar. Quando já tem tudo pronto, tem tudo feito, tu nem ‘se puxa’ muito e faz mais ou menos”*. Em outro momento da entrevista, ela complementou: *“Tu tinha que te dedicar mais”*. Por outro lado, a

Estudante 1 destacou que se sentia desorientada no início das atividades: “*É que tu se perde um pouco no início*”. Ela disse ainda: “*No começo, tu ficava meio sem chão. [...] É que tinham muitas opções*”. Procurando contribuir, ela apresentou sugestões para futuras aplicações da metodologia utilizada: “*Talvez [a professora] falar um pouco, mas ainda superficialmente, os caminhos que tu pode tomar*”.

Bastante tímida e de poucas palavras, a Estudante 1 demonstrou não ter um sentimento positivo em relação às discussões finais. Ela disse: “*Eu não ficava muito à vontade falando assim*”. Além disso, a estudante afirmou que não compreendia o que era apresentado pelos seus colegas durante os debates realizados: “*Quando os outros grupos apresentavam, eu não conseguia entender*”. Outro aspecto que não agradou à estudante durante as atividades é a limitação de tempo que eles dispunham para realizar suas investigações. Ela disse: “*Acho que o problema mesmo é a questão do tempo*”.

Em relação aos conhecimentos desenvolvidos durante as atividades com enfoque na modelagem científica, a Estudante 1 ressaltou a aprendizagem relacionada ao uso de *softwares* no tratamento de dados experimentais: “*Eu não tinha bem essa visão de que na Física tu bota uma curva, ajusta, e depois vê os parâmetros*”. Em função disso, quando questionada sobre a atividade mais proveitosa da disciplina, a estudante apontou a “Sistema de Amortecimento Automotivo”, argumentando o seguinte: “*Legal que tu via na equação o termo que depois tu botava no gráfico*”. Ela enfatizava com isso o processo de análise de dados empregado na atividade em que os estudantes coletavam medidas com o *software* Tracker e os analisavam usando o método dos mínimos quadrados com o *software* Excel.

Pode-se concluir, portanto, que a Estudante 1 apresentou atitude positiva frente às atividades desenvolvidas com enfoque no processo de modelagem científica principalmente por dois motivos: i) procurava-se vincular as teorias científica com eventos reais, e ii) as atividades possibilitavam uma aprendizagem mais sólida sobre os conteúdos científicos e os métodos envolvidos no trabalho experimental. Por outro lado, dois aspectos das atividades não a agradaram: i) expor suas ideias durante as discussões finais era uma ação constrangedora para a estudante, e ii) as muitas opções de investigações possíveis para serem realizadas deixavam-na desorientada no início das atividades.

Estudante 2

Já no início da disciplina o Estudante 2, que é descrito brevemente no Quadro 6.1, apresentava indícios de que tinha atitude desfavorável frente às atividades experimentais. Conforme é exposto na Tabela 6.1, a atitude desse estudante no início do estudo foi mensurada em 6,6, a menor entre todos os participantes. Além disso, ele foi o único participante da investigação que, no questionário inicial, discordou da afirmativa “Gosto de aulas de laboratório de Física”. Questionado sobre suas expectativas para a disciplina no início da investigação, o estudante, que só teve aulas experimentais no curso de Química que ele já havia concluído (veja no Quadro 6.1), demonstrou que tinha uma imagem negativa das atividades de laboratório desenvolvidas no curso de Física. Essa imagem foi construída pelo Estudante 2 com base em relatos de outras pessoas sobre as atividades

experimentais usualmente realizadas nas disciplinas. Ele disse: *“Espero ver uma nova abordagem de disciplinas experimentais, pois sou formado em Química e estou acostumado ao desenvolvimento de experimentos diferentes dos que serão vistos nesta disciplina”*. O estudante expressou ainda o desejo de que, na disciplina que começava, os experimentos realizados fossem “exercícios de raciocínio, e não meramente ‘seguir receita de bolo’”. Em entrevista, o Estudante 2 justificou sua concepção sobre aulas experimentais dizendo: *“Eu fui perdendo a paciência porque as coisas demoram, as coisas enchiam o saco, de fazer síntese, de as coisas serem muito matadas, principalmente aqui da UFRGS, no Instituto de Química. A segurança é muito meia boca, os exaustores das capelas não funcionam. A gente costuma ficar cheirando solvente. Fui perdendo a paciência”*.

Ao final da disciplina, suas manifestações são contraditórias. No Questionário 2, quando questionado se suas expectativas foram alcançadas, ele diz que *“foram superadas. Esperava que a disciplina se resumisse a ‘seguir receitas de bolo’ experimentais e/ou experimentos demonstrativos. No entanto, a cadeira se mostrou muito mais envolvente”*. Tal afirmativa revela uma atitude positiva do aluno em relação às atividades de modelagem. No entanto, as atitudes mensuradas do estudante evidenciaram o contrário. Como pode ser constatado na Tabela 6.1, a atitude do estudante em relação às atividades de modelagem foi medida com o valor de 6,2 enquanto que a sua atitude em relação às atividades tradicionais foi mensurada como 7,5. Esses valores demonstram que o estudante tem uma atitude mais positiva frente às atividades tradicionais do que em relação às atividades de modelagem. Além disso, quando perguntado sobre a metodologia de ensino que ele julgava mais proveitosa entre as atividades de modelagem e as atividades tradicionais, o Estudante 2 respondeu: *“Nem uma nem a outra. Ambas têm aspectos bons e ruins e acredito que deva haver ambos, com maior quantidade de aulas tradicionais. Atividades de modelagem (e a elaboração de seus respectivos relatórios) em grande quantidade se tornam, na minha opinião, desmotivadores pela quantidade de trabalho que acabam necessitando”*. Questionado sobre tal contradição na entrevista final da disciplina, o estudante justificou dizendo que não gostava de disciplinas experimentais. A passagem abaixo exemplifica um dos momentos da entrevista em que o estudante debatia o motivo pelo qual apresentou atitude pouco positiva em relação às atividades de modelagem.

Estudante 2: *Porque é experimental. Eu não sei se é um bloqueio meu, mas eu não gosto dela. Mesmo que tinha liberdade de montar, de tentar algo de novo, eu já vinha para cá já sabendo o que iria acontecer. Os grandes deslumbres de conhecimento que eu tive foi na parte de empuxo. Eu não tinha parado para pensar.*

Pesquisador: *Tu achas que isso tem a ver com a metodologia que foi aplicada?*

Estudante 2: *Não. Eu acho que é muito por causa da minha formação que eu já vinha com um preconceito de experimental. [...] Mas, de fato, a expectativa da disciplina foi superada, porque eu vinha com uma expectativa de ainda menos que isso. Eu vi que eu ganhei equivalência das outras disciplinas experimentais e que eu tinha que fazer só uma. Já me veio um pouco de felicidade. E lamentei que tinha que fazer uma. Porque os laboratórios que eu tive na graduação eram muito chatos.*

Desse modo, percebe-se que a atitude do Estudante 2 é pouco positiva em relação às atividades de modelagem não em função da metodologia utilizada, mas sim pelas experiências negativas que ele teve em outras disciplinas. Cabe ressaltar ainda que o estudante justificou seu

pouco empenho na disciplina afirmando estar priorizando seu curso de mestrado em Química que era realizado simultaneamente.

Procurando compreender as crenças dos estudantes sobre as atividades com enfoque na modelagem científica conduzidas na investigação, o Estudante 2 foi questionado sobre algumas das características das atividades. O uso dos quadros brancos foi destacado por ele como uma vantagem das atividades de modelagem: “*Olha, eu acho muito bacana a forma de exploração delas nos quadros. [...] Eu acho que essa parte foi muito prática, rápida e fácil. Apresentar é menos maçante do que fazer um relatório. Falando ali é melhor*”. Sobre a liberdade que os estudantes tinham nas aulas, o Estudante 2 argumentou que julgava que ela não foi produtiva. Em entrevista, ele disse: “*Não vejo nada de muito proveitoso. Eu acho que liberdade demais, falta um norte para o pessoal*”. O estudante disse ainda:

Na Física experimental, vou te dizer que eu achei interessante a proposta que vocês fizeram, de trabalhar livre, enfim, de explorar uma coisa mais científica, mas, não sei, as aulas que eu tinha, que eu gostava mais em Química eram mais delimitadas. Tu tinha que correr um pouco atrás. Eu acho que faltou um pouco de orientação para ter boas ideias. Eu acho que o pessoal teve ideias meio bestas em alguns experimentos, em algumas coisas.

O limitado tempo disponível para a realização das atividades também foi um aspecto que desagradou o Estudante 2: “*Precisaria de mais tempo do que chegar numa aula e já na semana seguinte começar um experimento*”.

Aprender a usar o *software* Tracker para a coleta e a análise de dados foi destacado pelo Estudante 2 como um aspecto interessante da disciplina. Ele disse: “*O Tracker, que eu não tinha contato, nunca tinha parado para pensar em algo parecido. Aquilo lá eu achei bem interessante, mas a prática em si, não tinha muita novidade*”. Além disso, o estudante foi bastante incisivo quando ressaltou a sua aprendizagem sobre aspectos do trabalho experimental:

Foi legal, assim, de rever um pouco aquele purismo de, tu tem um experimento, o que tu vai fazer? Qual a tua ideia? Quão próxima que ela... [pausa] Aquela coisa que tu se perde. Qual o teu objetivo? Qual a tua metodologia? O que tu tá fazendo? Muitas vezes se faz meio que ‘à bangu’, de qualquer jeito. Essa disciplina de fazer as coisas direito foi muito bem trabalhada. Acho que isso foi muito útil.

Por fim, o Estudante 2 destacou também como uma consequência da sua participação na disciplina a evolução em sua capacidade de se relacionar com os colegas.

Quando questionado sobre qual atividade julgava mais proveitosa na disciplina, o Estudante 2 foi o único estudante que destacou atividades conduzidas de forma tradicional, a saber, a determinação da constante de gravitação universal com o uso da balança de Cavendish, e as demonstrações sobre máquinas térmicas. Ele justificou sua escolha argumentando que os temas tratados nessas duas atividades não eram do seu conhecimento.

Resumidamente, podemos concluir que o Estudante 2 tinha uma atitude desfavorável frente às atividades experimentais independentemente da metodologia empregada. Ainda assim, ele aponta como vantagens das atividades com enfoque na modelagem científica o uso de quadros brancos, as apresentações realizadas nas discussões finais e, principalmente, a exigência de planejamento dos

experimentos, pelos alunos, delineando seus objetivos, seus métodos e suas análises antes da experimentação. Por outro lado, o estudante julgou que a liberdade que os estudantes tiveram era excessiva e que o tempo disponível nas aulas era insuficiente. Por fim, ele julgou que as atividades de modelagem tornavam-se cansativas em função do trabalho demandado para realizá-las.

Estudante 3

As atitudes da Estudante 3 medidas ao final da disciplina com o valor 3,4 em relação às atividades experimentais tradicionais e com o valor 6,9 em relação às atividades com enfoque no processo de modelagem científica, evidenciam que seu sentimento frente às atividades de modelagem é bem mais positivo do que sua percepção sobre as aulas de laboratório tradicionais. Corroborando essa evidência, quando questionada ao final da disciplina se suas expectativas foram alcançadas, a Estudante 3, que também participou de alguns dos ciclos de modelagem do Estudo 1 (veja no Quadro 6.1), disse:

Em termos de aulas, foram super alcançadas. Achei os ciclos de alguma forma mais divertidos do que no semestre passado [referindo-se aos ciclos de modelagem realizados no Estudo 1 dos quais ela participou] (estranho, porque são os mesmos). Acho que o professor [pesquisador] teve tempo de aprimorar seus métodos e a professora foi muito boa. Acho que, para mim, foi importante a ação de cobrança pessoal que ela exerceu também. Me senti bem atendida. [...] Acho que houve certo crescimento pessoal.

Dessa manifestação, pode-se identificar ainda que a postura da professora na disciplina foi importante para que as aulas tenham agradado à estudante. Tal aspecto foi evidenciado também quando a aluna buscou sugerir melhoras para a disciplina no teste final. Ela disse:

Acho muito importante que os ciclos estejam sincronizados com o conteúdo da disciplina de física geral. Eu mesma tive muito mais facilidade de fazer os relatórios (como estavam atrasados, pude fazer isso) [destacando que entregou seus relatórios com atraso] após ter passado o conteúdo em geral. Fora isso, achei muito bom. Tentaria manter a professora.

Ainda que tenha atitude pouco positiva frente às aulas de laboratório tradicionais, a Estudante 3 disse em entrevista que se divertiu nas atividades que realizou na disciplina que antecede “Física Experimental II – A”. Ao mesmo tempo, ela direciona uma crítica a essas aulas: “*Era bem divertido nas aulas de laboratório, porque tu não precisava fazer muita coisa. [...] Era meio que uma ‘matação’.*”

Assim como foi feito com os estudantes 1 e 2, procuramos entender os motivos que levaram a Estudante 3 a apresentar uma atitude positiva frente às atividades de modelagem. Para isso, analisamos suas crenças sobre as principais características das atividades. Sobre a liberdade que dispunha nas atividades para decidir como iria conduzir suas investigações, por exemplo, a estudante disse que era um aspecto positivo das aulas com enfoque no processo de modelagem: “*É mais legal tu ter essa possibilidade de tentar desenvolver o teu jeito de fazer [...] Acho que tu aprende uma parte maior do processo quando tu tem essa liberdade*”. Por outro lado, a estudante destacou que, em função dessa liberdade, lhe faltava tempo nas aulas: “*Eu sou uma pessoa que tem dificuldade de*

ousar. *É bem ruim isso. Eu tinha dificuldade com o falar e com o criar em aula. [...] Eu prefiro pensar sozinha e com tempo, e não sob pressão*”.

Quando questionada sobre seu sentimento sobre as apresentações realizadas nas discussões finais, a Estudante 3, em entrevista, disse: *“Pois é. Eu não gosto de falar, mas por um lado, tem que aprender a falar, né? Eu não me sinto muito à vontade não”*. Ela complementou: *“Eu ficava com um pouco de medo de perguntas. [...] Eu não sei se eu ia saber responder. Teve uma vez que me deu um branco. Aí eu fiquei meio traumatizada. [...] Eu não funciono muito bem sob pressão”*. A dificuldade da Estudante 3 justifica a necessidade de o docente que conduz as atividades de modelagem promover um ambiente de respeito e de liberdade durante as discussões finais. Isso foi destacado pela aluna: *“Se as pessoas não sabiam a pergunta, tu respondia ou sugeria, então não era o fim do mundo também”*.

Cabe ressaltar que a Estudante 3 não se manifestou nenhuma vez nas discussões finais das duas primeiras atividades de modelagem. Já na última atividade da disciplina, ela foi a estudante que se expressou por mais tempo entre os cinco participantes da pesquisa, o que evidencia uma grande evolução em sua capacidade de se expressar em público. Essa evolução foi destacada pela aluna quando questionada em entrevista sobre o que ela entendia que tinha aprendido na disciplina: *“Uma coisa que eu aprendi foi isso: de tentar falar depois, né?”*. A estudante destacou também que aprendeu a analisar dados com mais eficiência. Ela disse: *“Eu aprendi a usar o Excel. [pausa] Eu acho que aprendi a pensar em um jeito mais eficiente de fazer um experimento”*. Complementando, ela falou: *“Eu aprendi a analisar melhor do que em Física I os dados”*.

Perguntada sobre a atividade que ela julgou mais proveitosa na disciplina, a Estudante 3 disse que foi a “Resfriamento de Sistemas”. Ela justificou dizendo:

Eu acho que o da temperatura foi muito legal. [...] É uma coisa que tive de uma forma bem diferente na Física Geral do que a gente viu aqui na experimental. [...] Eu acho que foi o problema que mais nos fez pensar, eu acho que foi mais desafiador. [...] Tu tem a intuição de que vai acontecer de um jeito e não acontece. O experimento foi interessante.

Pode-se detectar dessa manifestação a preferência da estudante por atividades que provocam um desequilíbrio no seu conhecimento prévio.

Concluindo, podemos dizer que a Estudante 3 apresentou uma atitude bastante positiva frente às atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica desenvolvidas na disciplina. O seu histórico de muitas desistências na graduação torna a sua participação na disciplina, com aprovação, um aspecto positivo que depõe em favor da metodologia de ensino utilizada. Sobre as crenças da estudante, pode-se dizer que a liberdade da qual dispunha e os desafios propostos nas atividades são aspectos que lhe agradaram. Por outro lado, a aluna julgou que o tempo disponível na disciplina é insuficiente e que, em função disso, ela sentia-se pressionada nas aulas.

Estudante 4

Tanto nas respostas ao Questionário 2 como nas falas na entrevista realizada ao final da disciplina fica evidente que o Estudante 4 não ficou satisfeito com as atividades de modelagem da

disciplina. Conforme pode ser constatado dos dados da Tabela 6.1, a atitude do estudante em relação às atividades tradicionais aumentou de 7,2 no início da disciplina para 10,0 no final, enquanto que a sua atitude em relação às atividades de modelagem foi mensurada em 7,8 no final da investigação. Já no início da disciplina, o Estudante 4 afirmava no Questionário 2 que esperava que fossem realizados muitos experimentos, mas que queria que eles fossem bem direcionados. Ele sugeria que, para que as atividades experimentais fossem melhor do que as que ele havia cursado elas precisariam ser *“talvez um pouco mais direcionadas. Eu acho que está muito ‘por nós’, e talvez dessa forma não dê pra aproveitar tanto”*. No final da disciplina, as mesmas críticas por parte desse aluno se repetiram no questionário: *“Eu gostaria que houvesse mais experimentos. Talvez o tempo melhor aproveitado, ou ainda que fosse mais instruído: ‘façam isso, assim e assim”*. Porém, este estudante se contradiz em entrevista quando questionado sobre a liberdade dada a eles nas atividades de modelagem, afirmando: *“Eu achava isso ótimo! Porque, dependendo do tema proposto, tu pode pensar: ‘ah, se a gente visse daquele outro lado?’. E aqui a gente tinha essa liberdade”*. Para justificar essa contradição em suas opiniões, o estudante argumentou: *“Por um lado, é bom, por outro não é tão bom. [...] Quando tu tem liberdade, tu não sabe direito por onde tu vai, e quando te dizem ‘faz isso’, tu vai lá e faz aquilo. A liberdade é boa porque tu pode tentar ver um aspecto que tu goste mais do experimento”*. Ele ainda sugere: *“Talvez se tivesse uma proposta, mas essa proposta pudesse ser... ah... se vocês não pensassem em nada, façam isso, ou vocês podem fazer algo livre”*. Esses são fatores que explicam o porquê do Estudante 4 ter apresentado atitudes mais positivas frente às atividades tradicionais do que em relação às atividades de modelagem. Apesar disso, esse mesmo aluno admite em entrevista e no questionário que as atividades de modelagem são importantes para se aprender os conteúdos: *“A gente acaba aprendendo bastante”*.

Em entrevista, o Estudante 4 evidencia ter a crença de que disciplinas experimentais devem ser complementares às disciplinas teóricas. Ele disse que *“seria interessante que o mesmo professor que desse a aula de Física geral fosse o mesmo da aula de Física experimental. Porque assim ele sabe bem o conteúdo que ele está trabalhando e tu não acaba perdido na aula”*. Desse modo, pode-se concluir que o estudante entende que a falta de conhecimentos sobre os conteúdos de Física foi um fator que contribuiu para que ele se sentisse desorientado nas aulas experimentais na disciplina. Na sua concepção as atividades experimentais mais proveitosas envolvem o teste de conhecimentos aprendidos previamente, e não durante a atividade. Demonstração disso foi identificada na seguinte manifestação do estudante exposta no Questionário 2: *“As aulas com modelagem são proveitosas para ‘aprender’ o conteúdo, porém as aulas ‘tradicionais’ são mais divertidas e aprendemos por observação do que era pressuposto”*. A seguinte manifestação do aluno, realizada em entrevista, corroboram as nossas conclusões:

Eu acho que elas [as atividades com enfoque no processo de modelagem científica] são um pouco densas. [...] É que é um pouco complicado. Tu vem pra cá, pra essa aula, pra se livrar um pouco da aula de... [pausa] Tu ficar bem fixo ao conteúdo. Daí, as aulas lá eram um pouco densas. Tu tem que prestar bastante a atenção. Tem bastante conteúdo.

Sobre as discussões finais das atividades com enfoque no processo de modelagem científica, o Estudante 4 afirmou que elas eram positivas para as aulas. A possibilidade de debater com os

colegas foi destacada em entrevista como uma vantagem da metodologia: “*Tu olhava diretamente o resultado dos outros. [...] Era bem interessante. [...] A vantagem é que tu pode discutir com os próprios colegas*”. Por outro lado, o estudante também manifestou que tinha dificuldades de se expressar em frente aos colegas dizendo: “*Era um pouco embaraçoso*”.

Quando questionado em entrevista sobre o que julga ter aprendido com as atividades de modelagem, o Estudante 4 destacou a aprendizagem de conteúdos e do *software* Tracker. Ele disse que aprendeu “*um pouco do conteúdo. Eu achei interessante que a gente aprendeu sobre instrumentos de medida. [...] Gostei de usar o videozinho* [referindo-se ao uso da videonálise realizada com o *software* Tracker]”. Isso explica a sua predileção pela atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”, que foi a atividade em que os estudantes mais exploraram a videoanálise durante a disciplina: “*Eu acabei gostando bastante*”. Além disso, o estudante argumentou que gostou da atividade “Resfriamento de Sistemas” por ela tratar de um “*assunto contra intuitivo*”.

Resumidamente, podemos afirmar que a metodologia de ensino com enfoque no processo de modelagem científica empregado na disciplina não agradou ao Estudante 4. O caráter aberto das tarefas levou o aluno a sentir-se inseguro e desorientado, o que contribuiu para que ele apresentasse uma atitude desfavorável frente às atividades de modelagem. Sua preferência é por aulas dirigidas, em que o professor estabelece as ações que os alunos precisam realizar. Ainda assim, o Estudante 4 julgou que as atividades contribuíram para a aprendizagem de conteúdos científicos e que as discussões finais são positivas por possibilitarem o compartilhamento de ideias entre os próprios estudantes.

Estudante 5

As evidências mostram que a Estudante 5, que é descrita no Quadro 6.1, apresentou o sentimento mais favorável em relação às atividades com enfoque no processo de modelagem científica entre todos os participantes da pesquisa. Os dados expostos na Tabela 6.1, por exemplo, mostram que, frente às atividades de modelagem, a atitude da estudante foi mensurada como 9,7, sendo a mais positiva entre todos os alunos. Em entrevista, ela resumiu sua postura frente à atividade com a seguinte expressão: “*Eu achei divertido*”. Ao final da disciplina, quando questionada sobre a sua preferência entre as atividades de modelagem e as atividades tradicionais no Questionário 2, respondeu:

As atividades de modelagem são melhores porque temos mais liberdade com o experimento. Podemos, a partir de um objetivo, pensar como faríamos para resolver o problema ao invés de todos fazerem o mesmo experimento já estipulado. Numa aula com modelagem cada grupo pode fazer ‘o que quiser’ e no final podemos comparar os resultados, avaliar qual(is) dos modelos serviu melhor para um determinado fenômeno físico. Já na aula tradicional, todos fazem a mesma coisa, apenas coletamos os dados sem, geralmente, comparar com os dos outros grupos. Não há interação entre os grupos, o que eu acho que ajuda bastante. No momento em que eu explico para o outro grupo o que eu fiz eles podem me questionar algo que eu não tinha pensado e que pode ajudar no meu experimento.

Dessa manifestação, podemos identificar a principal crença que molda a atitude da Estudante 5: a percepção de que as atividades de modelagem oferecem liberdade aos estudantes e esse é um aspecto positivo para atividades experimentais. Além disso, sua resposta evidenciou que ela valoriza o compartilhamento de ideias promovido nas discussões finais das atividades. Corroborando essas conclusões, a estudante disse, em entrevista, que a liberdade da qual dispunha nas aulas “*é uma vantagem, porque a gente vai atrás de alguma coisa que a gente se interessa e não fica todo mundo fazendo a mesma coisa. Algum outro grupo pode ter feito alguma coisa diferente, que a gente não pensou, e aí a gente aprende com eles e eles aprendem com a gente*”.

Assim como a Estudante 1, a Estudante 5 ressaltou que a promoção de vínculos entre as teorias científicas e eventos cotidianos foi um dos aspectos das atividades de modelagem que mais lhe agradou: “*Eu acho que [as atividades com enfoque no processo de modelagem científica] servem bastante para relacionar fenômenos físicos com as coisas que a gente vê*”. Como exemplo, ela menciona que a atividade “Resfriamento de Sistemas” lhe auxiliou a compreender o trabalho dos peritos quando eles buscam avaliar o tempo transcorrido durante o resfriamento de um objeto como, por exemplo, um motor automotivo.

Quando tratou, em entrevista, das discussões finais das atividades de modelagem, a Estudante 5 ressaltou que essas atividades eram úteis para que ela pudesse avaliar se o conhecimento aprendido é coerente com o conhecimento científico. Além disso, ela novamente mostrou o quanto valorizou as interações com os colegas. Ela disse: “*Eu acho que é bom para a gente ver o que a gente pensou certo, o que a gente pensou errado, ver as coisas de uma maneira diferente. [...] O que eu não entendi eles me explicam e a gente pode se entender entre nós mesmos*”.

Também o Estudante 5 considera que as aulas de laboratório são complementares às aulas teóricas. No Questionário 2, quando perguntada sobre as suas expectativas para a disciplina, disse: “*Espero que me ajude a compreender fenômenos estudados nas aulas teóricas, contribuindo para uma melhor compreensão destes*”. No teste final, ela fez uma manifestação semelhante quando questionada se suas expectativas foram alcançadas na disciplina: “*Sim, pois as aulas ajudaram muito a compreender o conteúdo da disciplina teórica*”.

A falta de tempo para o desenvolvimento das atividades foi um aspecto que desagradou à Estudante 5. Quando questionada no teste final sobre que mudanças ela promoveria nas atividades ao final da disciplina, sugeriu:

Aumentaria a carga horária. Tive a impressão que em alguns experimentos tínhamos tão pouco tempo que fazíamos tudo correndo sem realmente pensar e entender o que estávamos fazendo e porquê. Sem falar que se tivéssemos mais tempo poderíamos utilizar mais de um modelo por episódio e comparar os resultados, ao invés de supor que se tivéssemos utilizado outro modelo os resultados seriam diferentes.

Em entrevista, ela voltou ao assunto dizendo:

Pelo que eu sei, na disciplina normal de Física [Experimental] II, tem um experimento por semana e sempre tem que fazer um relatório, e, sei lá, não me parece que dá tempo para fazer as coisas. Eu acho que a gente tem que ter um

bom tempo para fazer o experimento para tu fazer direito, e não fazer “nas coxas”.

Questionada sobre a atividade que mais lhe agradou, a Estudante 5 mencionou duas. A primeira delas foi a “Sistema de Amortecimento Automotivo”, justificando:

Para começar, eu não sabia como funcionava o amortecimento do carro, então isso eu aprendi. Uma vez na escola o professor tinha mencionado que um carro que não tinha amortecimento passou num buraco e passou o resto do caminho fazendo assim [representa com as mãos o carro oscilando verticalmente], e eu não entendia o que tinha a ver. [...] Para mim, a energia da mola uma hora iria parar. E o carro não iria ficar fazendo isso para sempre. Então eu fiquei com essa dúvida até o experimento.

Além disso, a estudante argumentou o motivo pelo qual achou a atividade “Arquimedes e a Coroa do Rei” interessante: “Porque, sei lá, eu cresci vendo a história da banheira e eu fiquei frustrada quando descobri que não podia ser verdade”.

Em suma, podemos concluir que a Estudante 5 possui uma atitude bastante positiva em relação às atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas na disciplina. Dois fatores principais explicam o sentimento da aluna: i) ela apreciou a liberdade da qual dispunha nas aulas para decidir aspectos das suas investigações, e ii) os debates promovidos durante as discussões finais foram agradáveis para a estudante. No entanto, a estudante julgou que as atividades de modelagem precisam ser desenvolvidas com mais tempo.

Considerações sobre as crenças e atitudes dos estudantes sobre as atividades de modelagem

Pode-se concluir que as atividades de modelagem exerceram uma influência positiva na atitude de três dos cinco participantes da pesquisa. Destaca-se que esses três participantes são do sexo feminino, enquanto que os dois estudantes do sexo masculino que participaram do estudo demonstraram não ter construído atitudes positivas frente às atividades de modelagem. A categorização das manifestações dos estudantes evidenciou ainda a existência de crenças que vinculam as atividades de modelagem com: i) a ênfase nas relações entre os conteúdos de Física e eventos da realidade; ii) o estímulo a debates sobre as investigações experimentais entre os próprios estudantes; iii) o envolvimento com problemas mais interessantes do que os investigados em aulas tradicionais; e iv) a liberdade para que os estudantes delineiem e executem suas investigações. Por outro lado, o caráter aberto das atividades de modelagem é o principal fator que fez com que tais atividades não fossem tão bem avaliadas por dois participantes da pesquisa. Esses alunos julgaram que foi dada liberdade excessiva aos estudantes que, tendo demasiada dificuldades para delinear bons experimentos, acabavam não aproveitando bem o tempo.

Sobre a proposição teórica que avaliamos no estudo, podemos dizer que não temos evidências suficientes para afirmar que ela foi ou não corroborada. Podemos afirmar, no entanto, que os dados coletados demonstram que as três estudantes do sexo feminino construíram atitudes positivas em relação às atividades conduzidas enquanto que os participantes do sexo masculino não gostaram das aulas, principalmente em função da liberdade que tinham para tomar decisões em suas investigações, que foi considerada excessiva por eles. Esses resultados vão ao encontro dos de

Brewe et al. (2010), que observaram que as atividades de modelagem conduzidas pelos pesquisadores favoreceram a participação de estudantes pertencentes a algumas minorias (hispânicos, negros e mulheres). Buscando esmiuçar nossa análise sobre a influência da liberdade nas atividades de modelagem sobre as atitudes dos estudantes, optamos por, no Estudo 3, tornar as atividades levemente mais dirigidas. Detalhes sobre essa opção serão apresentados no Capítulo 8.

6.5.2 Como atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam o domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica por parte dos estudantes?

Procurando investigar o nível do domínio dos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica, buscamos avaliar a compreensão deles sobre diferentes conceitos e situações relacionadas com esse campo conceitual, que denominamos aqui de situações de modelagem. Construímos duas proposições teóricas para serem avaliadas com essa segunda questão de pesquisa. Mantendo a dinâmica de apresentação de resultados adotada até aqui, no que segue, apresentaremos essas proposição juntamente com as evidências coletadas que nos possibilitaram avaliá-las. A primeira proposição teórica é exposta abaixo.

Proposição teórica: Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes desenvolvam conhecimentos relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica, porque elas são frutíferas para dar sentido aos conceitos fundamentais do campo conceitual da modelagem didático-científica, possibilitando que os estudantes compartilhem significados para esses conceitos que sejam coerentes com as concepções epistemológicas contemporâneas.

Como mencionado na Seção 3.4, o campo conceitual da modelagem didático-científica envolve uma série de conceitos como, por exemplo, de idealização, aproximação, domínio de validade e grau de precisão. Com o objetivo de aprofundar a análise conduzida, decidimos nos focar neste estudo na investigação das concepções dos participantes sobre três conceitos mais inclusivos e centrais do campo conceitual da modelagem didático-científica: modelo, teoria e modelagem³⁴. Assim como procedemos na exposição dos resultados relacionados com a primeira questão de pesquisa deste estudo, apresentaremos os resultados vinculados à segunda questão divididos em termos das unidades de análise ao qual eles se referem, ou seja, em termos dos estudantes participantes do estudo.

³⁴ Cabe ressaltar, novamente, que, para simplificar os debates promovidos na disciplina, os termos “modelo” e “teoria” foram utilizados como sinônimos de, respectivamente, “modelo teórico” e “teoria geral” como concebidos por Bunge. Nas atividades, a expressão “modelo” nunca foi utilizada com referência aos “modelos conceituais” de Bunge, assim como o termo “teoria” não foi explorado com o significado de “teoria específica”.

Estudante 1

Os níveis de concordância da Estudante 1 com as afirmativas apresentadas no Questionário 1, exposto no Apêndice E, demonstram que, no início da disciplina, ela já considerava que os modelos científicos são representações simplificadas. Por exemplo, ela discordou das proposições que diziam que “modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade” e que “modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos”. Outra evidência de que a estudante compreende que modelos são idealizados foi identificada em entrevista. Questionada sobre as características dos modelos científicos, a Estudante 1 disse: “*Eu esqueci [pausa] que nem tu despreza... [longa pausa] as simplificações! É! É isso aí. É que nem quando tu despreza a resistência do ar*”.

Por outro lado, também foram identificadas evidências de que a Estudante 1 considera que modelos científicos são equações. Por exemplo, no seu primeiro relatório, a estudante afirmou que, “*para calcular o período do pêndulo simples para pequenas amplitudes, usamos o modelo $T = 2\pi\sqrt{l/g}$* ”. De modo semelhante, questionada sobre um modelo teórico que poderia ser utilizado para resolver o problema da Questão 1 do Questionário 1, a estudante redigiu apenas a equação “ $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$ ”. Já no final da disciplina, sua resposta foi: “*Equações do movimento retilíneo uniformemente variado*”. Em entrevista, a aluna também demonstra entender que os modelos científicos são equações: “*Modelo... Seria uma equação maior? [...] É uma equação que tu modificou ela, mas conforme a questão. [...] Teoria é mais geral e não é mais uma coisa mais específica*”. Ela complementa sua concepção quando explica o que, para ela, é o processo de modelagem científica: “*Tu pega uma coisa complexa da realidade, simplifica bastante, e tenta achar um modelo que explique o experimento [...] Tu tem a situação, tu sabe mais ou menos a teoria, e tu vai modificando a equação adaptando ela ao experimento, até tu chegar no modelo que explique o resultado*”. Além de mostrar que entende que modelos são equações, a estudante demonstra também ter uma concepção incompleta do processo de modelagem científica, resumindo-o à construção dos modelos, desprezando o processo de validação, por exemplo. Pode-se concluir ainda das suas manifestações que ela entende que os termos “teoria” e “modelo” contrapõem o geral e o específico, ou seja, que os modelos se referem a eventos específicos e que teorias são gerais.

Questionada sobre sua concepção para o termo “teoria”, a estudante demonstra conceber que os modelos são adaptações das teorias a situações específicas. Ela disse: “*Modelo é quando tu... [pausa] ...especifica mais. Aí, não sei explicar... [pausa] Tu adapta mais para aquele tipo de situação. E uma teoria é mais geral*”. Ela exemplifica sua concepção dizendo que entende que as leis de Newton formam uma teoria, e o pêndulo simples é um modelo. Esses exemplos são condizentes com a percepção exposta pela estudante de que modelos e teorias contrapõem o que é geral e o que é específico. Decorre disso a discordância da estudante da afirmativa “um modelo científico pode passar a representar sistemas físicos completamente diferentes daqueles para o qual foi inicialmente concebido”. De forma coerente com a sua crença de que os modelos representam eventos específicos, a estudante entende que esses modelos não podem passar a representar outros eventos. Ainda que conceba que os modelos representam eventos específicos, a Estudante 1

demonstra compreender que diversos modelos podem ser construídos para representar um mesmo evento quando passa a discordar no teste final da proposição “é possível construir diversos modelos científicos para o mesmo sistema físico, mas somente um será aceitável”. No início da disciplina, a estudante se mostrou indecisa frente a essa afirmativa.

Demonstrando que não tinha no início da disciplina, e que não construiu durante as atividades, a concepção de que os modelos científicos são construções humanas, a Estudante 1 discordou no teste inicial e no final das afirmativas que diziam que “modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re)constrói” e que “os cientistas frequentemente introduzem elementos hipotéticos, ignoram propriedades e fazem uso de entidades não observáveis na modelagem científica de sistemas físicos”. No entanto, de forma contraditória, a estudante passou a concordar no final da disciplina com a afirmativa “há modelos científicos que permitem investigar sistemas que não existem na natureza”, pois essa proposição só faz sentido na medida em que aceitamos que os cientistas “inventam” entidades para representar a natureza, e que, portanto, os modelos científicos são construções humanas.

Um aspecto importante da concepção de modelagem da Estudante 1 é que ela evidencia compreender que diferenças entre dados coletados experimentalmente e previsões construídas por meio de modelos científicos são inevitáveis. Por exemplo, ela discordou, no teste inicial e no final, da afirmativa “modelos científicos devem ser modificados sempre que não estiverem de acordo com os dados empíricos ou com o corpo de conhecimento já estabelecido”. Em entrevista, quando questionada sobre os fatores que explicam as mencionadas diferenças, ela disse: *“Porque tem toda a questão das aproximações. E, sei lá, não estava bem preciso os instrumentos. E porque a teoria e a modelagem não explicam totalmente a realidade”*. Além disso, a estudante demonstrou compreender também que os modelos dirigem o delineamento de um experimento. Perguntada sobre como um cientista decide que grandezas precisa controlar em um arranjo experimental, ela respondeu: *“tu vê algumas equações que te dizem o que pode influenciar”*.

A Estudante 1 demonstra ter clareza sobre o papel dos modelos teóricos no processo de delineamento de experimentos. Ela afirmou que, para se definir as grandezas que precisam ser controladas em um experimento, *“tu vê algumas equações que te dizem o que pode influenciar”*. Ela ressalta então que é necessária *“uma reflexão antes do experimento”*.

Resumidamente, pode-se dizer que a Estudante 1 entende que modelos são equações que representam simplificada e especificamente eventos da realidade e que teorias são leis expressas por meio de equações gerais, ou seja, equações que não fazem referência a eventos específicos. Quanto ao conceito de modelagem, a estudante apresenta uma concepção limitada, abarcando no processo de modelagem científica apenas os procedimentos envolvidos na construção dos modelos, desprezando, por exemplo, o processo de contrastação empírica dos modelos.

Estudante 2

O Estudante 2 evidenciava entender que as teorias são construções gerais que englobam uma série de modelos. Pode-se perceber que a concepção desse estudante é uma herança da sua formação em Química. Em entrevista, ele disse:

Teoria atômica. Nós temos diversos modelos, uns melhores, outros piores, uns rejeitados, de como é o átomo. [...] A teoria atômica é que a natureza é composta de átomos e do que eles são compostos". Questionado sobre um exemplo da Física, o aluno disse: "Acho que tinha um modelo de pêndulo físico. Teoria: mecânica.

Foi perguntado ao aluno, então, o que ele entendia pelo modelo de pêndulo simples. Sua resposta demonstra que ele considera um modelo como uma simplificação do evento que se pretende representar, ou seja, algo semelhante ao que Bunge denomina de objeto-modelo, que é um termo que não foi citado e/ou debatido nas aulas. A transcrição dessa passagem na entrevista é exposta abaixo.

Pesquisador: *O que é o modelo de pêndulo simples?*

Estudante 2: *É um ponto de massa na extremidade de um fio ideal, inextensível, desprovido de massa que oscila em torno da posição de equilíbrio de forma sem atrito com o ar.*

Pesquisador: *Se eu te digo isso aqui [é apresentada a equação $T = 2\pi\sqrt{l/g}$], isso aqui é o modelo de pêndulo simples ou eu já estou na teoria?*

Estudante 2: *Já está na teoria.*

Pode-se perceber também nessa transcrição que o estudante parece entender que as teorias são as equações utilizadas para descrever o comportamento de eventos físicos. A percepção de que a teoria atômica é uma teoria vai de encontro com essa concepção manifestada pelo estudante, evidenciando falta de clareza nas suas concepções epistemológicas. A transcrição abaixo mostra também que o Estudante 2 considera possível uma descrição completa da realidade por meio de um modelo.

Pesquisador: *Todo modelo implica em idealizações e simplificações?*

Estudante 2: *Não necessariamente. [...] Depende da simplicidade do evento.*

Essa manifestação é coerente com a sua concordância no teste final com a afirmativa "modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade".

Assim como a Estudante 1, o significado atribuído pelo Estudante 2 ao conceito de modelagem é de que se refere ao processo de construção de modelos. No entanto, em decorrência do seu entendimento de que modelos são descrições simplificadas de eventos físicos, sua compreensão sobre o ato de construir modelos é diferente da apresentada, por exemplo, pela Estudante 1. Em entrevista, ele afirmou que modelagem "é *tu tentar pegar um fenômeno de difícil compreensão, de difícil explicação e tentar encontrar os elementos básicos, o que é elementar para que ele possa descrever o comportamento que seja semelhante ao que é obtido*". Conclui-se, portanto, que o Estudante 2 entende que o processo de modelagem se restringe ao ato de construir uma descrição simplificada da realidade, ou seja, um objeto-modelo, nas palavras de Bunge.

Ainda sobre a construção de modelos, pode-se concluir que o estudante entende que esse processo tem origem na mente dos cientistas. Evidência disso é sua concordância, no teste inicial e

no final, com as afirmativas “modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re)constrói” e “os cientistas frequentemente introduzem elementos hipotéticos, ignoram propriedades e fazem uso de entidades não observáveis na modelagem científica de sistemas físicos”.

Questionado sobre o processo de contrastação experimental dos modelos, o Estudante 2 defendeu que o controle de variáveis realizado nos experimentos científicos é dirigido pelo “instinto ou a teoria”. Desse modo, o estudante parece ter clareza sobre a influência das simplificações da realidade consideradas nos modelos sobre o delineamento de arranjos experimentais. Durante a entrevista, ele explica os motivos de existirem diferenças entre previsões construídas por meio de modelos teóricos e dados experimentais. Ele diz: *“Por mais controlado que seja, tu nunca vai chegar no nível da idealização”*.

Pode-se concluir que o Estudante 2 entende que modelos são descrições simplificadas da realidade, como são os objetos-modelo na concepção de Bunge. Já a concepção de teoria do estudante oscila entre duas compreensões distintas: i) teorias são concepções ontológicas sobre a natureza, e ii) teorias são equações matemáticas utilizadas para se representar modelos. Quanto ao conceito de modelagem, ele entende que tal processo se restringe à construção de modelos, ou seja, à construção de descrições simplificadas de eventos reais.

Estudante 3

A concepção de teoria e de modelo da Estudante 3 vai ao encontro da concepção do Estudante 2. Ela também evidencia entender que um modelo é uma descrição simplificada do evento que se pretende representar. Em entrevista, ela disse: *“Eu acho que um modelo seria a idealização do fenômeno que a gente está analisando. A teoria é o que a gente constrói a partir da análise desse fenômeno”*. Ela diz ainda: *“O modelo seria tu considerar, tipo, o pêndulo uma massa pontual e essas idealizações, e a teoria é como essa idealização se comporta. Tu tem a representação matemática do pêndulo simples, e aquilo seria a teoria? Talvez? Eu acho. Na verdade, eu não sei”*. Percebe-se que essa aluna não está segura de sua concepção. A estudante foi, então, questionada se a equação $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ é um modelo ou uma teoria, tendo respondido que não sabia. A insegurança de suas respostas fica clara novamente quando ela procura destacar as características dos modelos: *“Eu não sei se todo modelo científico tem que ser uma idealização, mas eu acho que muitos são idealizados para que a gente possa avaliar uma coisa específica”*. Sobre as teorias, a estudante argumenta que elas têm *“que descrever determinadas situações da mesma forma. Ela tem que ter generalidade!”*.

Sobre o processo de modelagem científica, a Estudante 3 apresentou uma concepção mais completa do que seus colegas. Para ela:

[...] modelagem é todo o processo de observar o fenômeno, pensar como que tu vai analisar aquilo, pensar qual parte daquilo tu vai analisar. [...] Ver o que tu vai usar e transformar aquilo num modelo, fazer idealizações que tu precisa. [...] Acho que tu pode prever como esse modelo vai se comportar utilizando alguma teoria e daí tu pode testar em laboratório, fazer um experimento, [avaliar] como esse modelo se adequa.

Percebe-se que a aluna inclui no processo de modelagem o ato de validar os modelos, evidenciando uma concepção adequada desse processo.

A estudante mostra também ter clareza sobre o papel dos modelos teóricos no processo de delineamento de experimentos ao afirmar, por exemplo, que em uma investigação empírica “*tu tem que isolar a variável que tu quer experimentar, e daí tu tem que controlar as outras*”. Também é clara quando fala dos fatores que explicam as diferenças inevitáveis entre previsões construídas por meio de modelos científicos e dados empíricos. Ela afirma que essas diferenças existem “*porque eu não estou fazendo o experimento com o modelo, até porque ele não existe*”. Ela ainda acrescentou: “*Eu posso ter erro de medida também!*”. Ela diz ainda que “*o modelo não existe. [...] Por que eu vou ter idealizações no modelo que eu não tenho na vida real*”.

Conclui-se que a Estudante 3 entende que modelos são descrições simplificadas da realidade que são explicadas por teorias gerais. Essas teorias são, para a estudante, equações utilizadas na descrição de uma série de modelos. Sobre o conceito de modelagem, a estudante engloba nesse processo tanto a construção dos modelos como o seu uso e sua validação, evidenciando ter uma concepção mais profunda sobre o processo de modelagem científica do que seus colegas.

Estudante 4

O Estudante 4 demonstrou considerar que modelos são equações e as teorias são situações idealizadas. Em entrevista, ele disse:

Por exemplo, tu pega o livro, vê ali, sei lá, movimento retilíneo. Tem uma explicação do que é o movimento retilíneo. Isso é a teoria. E modelo já é algo como essa teoria foi descrita. Por exemplo, daí tu usa ali a fórmula que tem a velocidade no tempo. Esse pedaço é o modelo. Mais ou menos como a teoria é descrita por alguém.

Ele disse ainda: “*O modelo tenta descrever a teoria. [...] A teoria é mais aberta. É bem mais idealizada*”. No entanto, quando questionado sobre exemplos de teorias e modelos, o estudante se mostrou confuso.

Pesquisador: *As leis de Newton são um modelo ou uma teoria?*

Estudante 4: *As leis de Newton... [pausa] São um modelo.*

Pesquisador: *E o pêndulo simples?*

Estudante 4: *[longa pausa] Não, as leis de Newton são uma teoria. E o pêndulo simples é um modelo.*

Pesquisador: *Por quê?*

Estudante 4: *As leis de Newton abrangem... [pausa] elas são mais... [pausa] ou é o contrário, porque as leis de Newton são um modelo da Mecânica Clássica?*

Nessa transcrição, o Estudante 4 demonstra falta de clareza da sua concepção sobre os termos modelo e teoria, não sendo capaz de diferenciá-los e de relacioná-los com os exemplos propostos pelo pesquisador. No relatório da atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”, no entanto, o estudante evidencia conceber que a mecânica newtoniana é um modelo dizendo: “*o modelo que utilizamos foi o da mecânica newtoniana*”.

A confusão do Estudante 4 sobre o significado do termo modelo também fica clara quando analisamos os seus níveis de concordância com duas afirmativas do Questionário 1. Tanto no teste

inicial como no teste final, ele concordou com a proposição “modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos”. No entanto, de forma contraditória, discordou no teste final da afirmativa “modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade”.

Em decorrência da sua falta de clareza sobre o caráter representacional dos modelos científicos, o Estudante 4 demonstrou não compreender também que é inevitável que existam diferenças entre dados empíricos e previsões construídas com base em modelos científicos em investigações experimentais. Questionado se essas diferenças são inevitáveis, sucedeu-se o seguinte diálogo.

Estudante 4: *Depende do caso. Mas eu acho que na maior parte dos casos sim [existem diferenças]. Porque podem ter vários erros nas medidas, não?*

Pesquisador: *Tu acha que pode existir um experimento em que batam exatamente os valores empíricos com valores preditos por meio de modelos?*

Estudante 4: *Acontece de vez em quando. São raros os casos.*

Além do estudante não ter clareza sobre as implicações do fato de os modelos serem simplificados, cogita a possibilidade de se utilizar instrumentos completamente precisos. Outra evidência dessa concepção do estudante pode ser identificada em uma de suas respostas ao Questionário 1 no final da disciplina. É perguntado ao estudante se, na análise dos dados coletados no experimento que ele propõe no problema, são consideradas ou não simplificações da realidade. Dizendo apenas “não”, o aluno demonstra novamente acreditar que pode construir uma cópia especular de um evento real.

O Estudante 4 evidencia ter falta de clareza também sobre a influência dos modelos científicos no delineamento de experimentos. Em sua entrevista, ele foi questionado sobre como avaliaria se a intensidade de luz incidente sobre o aparato experimental utilizado na atividade “Resfriamento de Sistemas” era uma grandeza que precisava ou não ser controlada na sua investigação. Ele respondeu que se basearia no próprio experimento: “Sei lá... Faço ele [o experimento] com a luz acesa e com a luz apagada. E assim vou perceber que não faz diferença”. O estudante demonstra assim menosprezar a influência do modelo teórico de referência de um experimento no seu delineamento.

Em relação ao conceito de modelagem, o estudante demonstra conceber que tal termo abrange o processo de construção de modelos, o que é evidenciado na transcrição de um trecho de sua entrevista apresentada abaixo.

Estudante 4: *Modelagem é um jeito de abordar um modelo físico. Nas aulas de modelagem, a gente via um pouco da teoria e como se chegar a uns resultados através de alguns cálculos levando em consideração algumas coisas.*

Pesquisador: *O que tu queres dizer com “jeito de abordar um modelo físico”?*

Estudante 4: *Chegar a um modelo físico. Tu chega ali a partir de uma teoria. Tu mostra como, por onde tu foi para chegar no modelo físico.*

Como decorrência do diálogo transcrito acima, foi solicitado que o estudante esclarecesse como os modelos são construídos com base em teorias. Ele disse: “Acho que tu pode sair de um modelo e chegar em uma teoria. Não... Acho que tu pode sair de uma teoria e chegar em um modelo.

[longa pausa] *Não sei*". Tal manifestação demonstra uma falta de clareza do estudante sobre sua concepção sobre o processo de modelagem.

A análise das evidências coletadas mostra que o Estudante 4 não tem clareza sobre suas concepções sobre os conceitos de modelo, de teoria e de modelagem. Como decorrência, pode-se identificar variações em suas manifestações durante a pesquisa. Existiram momentos, por exemplo, em que ele demonstrava compreender que modelos são descrições simplificadas, mas existiram também eventos em que ele mostrava também não compreender as implicações desse caráter representacional dos modelos, analisando a contrastação de ideias científicas como se os modelos fossem descrições exatas dos eventos que representam.

Estudante 5

Em entrevista, a Estudante 5 inicialmente demonstra compreender que modelos são objetos concretos, como pode ser constatado na transcrição abaixo.

Estudante 5: *Modelo, eu imagino que é a coisa física, sabe? Tipo, tá o fenômeno, a gente pode descrever por esse modelo, que é mais ou menos como essa coisa acontece. Ah, sei lá... o caso do amortecimento. A gente pode imaginar que o amortecimento é uma mola. No caso, no carro é. Que tu põe ela num líquido e daí uma hora ela para mais rápido do que se ela não estivesse no líquido. E a teoria, sei lá, a gente não vê as coisas, a gente só fala sobre elas [...] Não sei. Ondas. Tipo, a gente pode falar ondas, desenhar elas no quadro, mas a gente não está vendo uma cordinha balançando, sabe?*

Pesquisador: *Tu entendes teoria como algo abstrato e modelo como algo concreto?*

Estudante 5: *É, é mais ou menos isso.*

No entanto, a aluna se mostra contraditória em suas concepções. Em outra passagem da entrevista, quando questionada sobre as características dos modelos, a aluna disse: "*Primeiro, que nunca as coisas são realmente [pausa] tipo, elas não acontecem do jeito que a gente descreve*". A transcrição abaixo mostra o debate que tal fala suscitou.

Estudante 5: *Na Física teórica, o comportamento da onda é assim [gesticula com as mãos um movimento ondulatório]. Aí a gente vai lá, faz o experimento, e não é bem assim. Algumas coisas são diferentes. Mas claro, tem coisas que a gente não leva em conta, que na teoria a gente pode abstrair, porque não está lá, mas quando a gente tá fazendo de verdade, não tem como negar que o ar está aqui, que a gravidade está agindo sobre aquilo, que em teoria às vezes dá pra dizer que não está ali, e aí as coisas funcionam.*

Pesquisador: *Mas agora o modelo é abstrato? Não consegui entender...*

Estudante 5: *Não, eu acho que o modelo é a coisa de verdade, sabe? Que a gente vai lá e faz.*

Pesquisador: *Então um modelo não é simplificado?*

Estudante 5: *Como assim, simplificado?*

Pesquisador: *Eu uso uma teoria para descrever uma situação?*

Estudante 5: *Sim.*

Pesquisador: *E o modelo é a situação?*

Estudante 5: *Na minha cabeça é assim.*

Pesquisador: *Modelo é exatamente a situação, então? Por que tu estavas falando de modelo e tu disseste "modelo não acontece bem como as coisas são"?*

Estudante 5: *É. Eu acho que me confundi no que eu estava falando.*

Em seguida, questionada sobre quais são as características dos modelos e das teorias, a estudante, após um breve período pensando, afirmou não ser capaz de responder tal pergunta.

A Estudante 5 demonstrou também não ter clareza ao final da disciplina da influência dos modelos teóricos de referência no delineamento de um experimento. Quando questionada sobre o motivo pelo qual ela buscou controlar a temperatura ambiente no seu experimento realizado na atividade “Resfriamento de Sistemas”, a estudante respondeu o que segue.

Estudante 5: *Se a temperatura estiver variando, também pode fazer uma diferença.*

Pesquisador: *Com base em que tu dizes isso?*

Estudante 5: *Na minha cabeça.*

Vê-se com essa transcrição que a estudante entende que o controle de variáveis em um experimento é dirigido pela intuição, e não por um modelo de referência.

Questionada sobre os fatores que explicam diferenças entre dados experimentais e previsões construídas com base em modelos científicos, a Estudante 5 destaca os erros de medida, as incertezas dos instrumentos e possíveis erros nas previsões teóricas. Desse modo, a estudante não vincula as simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos de referência dos experimentos com as diferenças entre as previsões e as evidências de uma investigação empírica.

Sendo coerente com a sua concepção de modelo, entendido como algo concreto, a Estudante 5 demonstra entender que o processo de modelagem científica é o procedimento realizado durante o delineamento de um arranjo concreto com o intuito de reproduzir de forma simplificada um evento real. A transcrição abaixo revela a concepção da estudante.

Estudante 5: *Na minha cabeça, modelagem é tu pegar as coisas e fazer elas, tipo, aplicar elas em uma situação.*

Pesquisador: *Pegar as coisas? O que tu queres dizer?*

Estudante 5: *Não sei... Pegar um... [pausa] Tipo, um pên... [pausa] Não um pêndulo. Um amortecimento. Acho que amortecimento é um bom exemplo. O fenômeno de movimento amortecido! A gente relaciona ele com, por exemplo, o amortecimento do carro. E daí a gente faz isso.*

Pesquisador: *E aí tu queres representar esse modelo matematicamente e tu constróis uma teoria?*

Estudante 5: *É isso!*

Em suma, conclui-se que a Estudante 5 tem a concepção de que os modelos são arranjos concretos construídos para reproduzir eventos cotidianos, e que o processo de modelagem envolve a construção desse modelos. Teoria é, para a estudante, uma construção matemática utilizada para representar os modelos.

Considerações sobre as concepções dos estudantes sobre os conceitos de modelo, teoria e modelagem

As evidências coletadas neste estudo mostraram que os estudantes apresentam, mesmo no final da disciplina, concepções sobre o conceito de modelo bastante confusas e variadas. Pode-se identificar também que os estudantes exprimem diferentes concepções em diferentes momentos do estudo. No Quadro 6.7, sintetizamos as concepções sobre o conceito de modelo identificadas nas manifestações e nas tarefas de cada um dos estudantes.

Quadro 6.6 – Concepções dos participantes do Estudo 2 sobre o conceito de modelo. As células com ✓ apontam que o estudante evidencia compartilhar da concepção indicada na coluna ao menos uma vez na investigação.

Estudante	Concepção sobre o conceito de modelo: Modelos são...				
	...descrições simplificadas de eventos físicos, ou seja, na nomenclatura bungeana, um objeto-modelo.	...representações simplificadas de eventos físicos, ou seja, na nomenclatura bungeana, um modelo teórico.	...arranjos concretos construídos com o intuito de reproduzir eventos físicos.	...leis gerais que podem ser utilizadas para representar uma série de situações.	...equações que descrevem o comportamento de eventos físicos específicos.
1		✓			✓
2	✓				✓
3	✓				
4				✓	✓
5			✓		

As concepções manifestadas pelos estudantes sobre o conceito de teoria também foram confusas e diversificadas, com pode ser visto no Quadro 6.8.

Quadro 6.7 – Concepções dos participantes do Estudo 2 sobre o conceito de teoria. As células com ✓ apontam que o estudante evidencia compartilhar da concepção indicada na coluna ao menos uma vez na investigação.

Estudante	Concepção sobre o conceito de teoria: Teorias são...				
	...lei gerais sobre o comportamento da natureza.	...equações gerais que descrevem comportamentos da natureza.	...equações que representam eventos físicos específicos.	...são descrições simplificadas de eventos físicos.	...concepções ontológicas sobre a natureza.
1	✓	✓			
2			✓		✓
3		✓			
4				✓	
5	✓		✓		

Os estudantes 1, 2, 4 e 5 demonstraram entender que o processo de modelagem é o processo de construir modelos. As diferenças entre as concepções desses estudantes são decorrentes das distintas compreensões que eles têm sobre os conceitos de modelo e de teoria. Destaca-se que, com exceção da Estudante 3, os participantes não vinculam o conceito de modelagem com o processo de contrastação empírica dos modelos científicos.

Os resultados mostram que as mudanças na concepção dos estudantes sobre os conceitos de modelo, de teoria e de modelagem foram bastante tímidas. Nas entrevistas realizadas ao final da disciplina pode-se identificar estudantes com concepções bastante superficiais sobre os conceitos investigados. Esses resultados, portanto, não fornecem apoio empírico para a proposição teórica testada na investigação, pois a realização de debates explícitos sobre metamodelagem não foram suficientes para que os estudantes compreendessem adequadamente o significado dos principais conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica.

Passamos agora a apresentar as evidências coletadas na investigação relacionadas com a segunda proposição teórica da segunda questão de pesquisa, que é apresentada abaixo.

Proposição teórica: Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes desenvolvam conhecimentos relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica, porque elas são frutíferas para defrontar os estudantes com situações que envolvem conceitos e esquemas de ação relacionados com esse campo conceitual..

Os resultados que passamos a descrever mostram que o desenvolvimento de competências relacionadas ao campo conceitual da modelagem didático-científica por parte dos estudantes foi lento, penoso e tímido. No que segue, destacaremos os principais avanços e dificuldades dos estudantes quando defrontados com situações de modelagem durante o Estudo 2.

Ainda que tenhamos usado múltiplas fontes de evidência para avaliar os avanços e as dificuldades dos alunos no enfrentamento de situações de modelagem, optamos por partir da análise dos 18 relatórios produzidos pelos estudantes para então avaliar as suas ações em outras situações, pois entendemos que os relatórios constituem sínteses das ações realizadas pelos alunos no defrontamento dos problemas propostos nas atividades. Procuramos então relacionar evidências coletadas por meio dos relatórios confeccionados pelo estudante com dados provenientes de outras fontes de evidências. Para isso, decidimos usar um protocolo de avaliação para quantificar a qualidade das tarefas em função de oito itens que foram concebidos a fim de proporcionar uma avaliação dos objetivos de aprendizagem norteadores das atividades que foram expostos na Quadro 6.5. O Quadro 6.9 sintetiza esses itens e suas descrições.

Cada um dos itens de avaliação dos relatórios foram divididos em subcritérios que conjuntamente constituíram o protocolo de avaliação que é apresentado no Apêndice J. Em cada relatório analisado, foi atribuído o símbolo ✓ ou ✗ para cada subcritério do protocolo de avaliação indicando se ele é atendido ou não. Em seguida, os símbolos ✓ ou ✗ foram convertidos nos números 1 e 0, respectivamente, e a avaliação de cada critério do protocolo foi contabilizado como a média dos subcritérios utilizados para analisá-los. A avaliação dos avanços e das dificuldades dos estudantes relacionadas ao campo conceitual da modelagem didático-científica foi norteada pelos resultados dessa análise dos relatórios.

É importante ressaltar que, nesta seção, não procuramos avaliar exaustivamente o desempenho dos estudantes nas atividades de modelagem realizadas, mas sim identificar suas principais dificuldades e avanços quando enfrentam situações em que precisam construir e/ou explorar um modelo científico.

Quadro 6.8 – Itens avaliados nos relatórios produzidos pelos estudantes no Estudo 2 e suas descrições.

Itens sob análise	Descrições: Análise do relatório sob o ponto de vista da qualidade da exposição...
1 Objetivos	...dos objetivos das investigações, avaliando se são expostos de forma relacionada com o uso, a construção ou exploração de um modelo científico.
2 Teoria Geral	...da teoria geral que ampara a construção do(s) modelo(s) teórico(s) que dirige(m) a investigação.
3 Simplificações	...das simplificações da realidade consideradas no(s) modelo(s) teórico(s) que dirige(m) a investigação.
4 Referentes	...das objetos da realidade considerados no(s) modelo(s) teórico(s) que dirige(m) a investigação.
5 Relação Teoria-Experimento	...das relações do(s) modelo(s) teórico(s) que dirige(m) a investigação com a escolha do arranjo experimental, assim como com a análise de dados realizada.
6 Representações	...da análise dos dados experimentais realizada por meio da interpretação dos mesmos dispostos por meio de ferramentas de representação adequadas com base no(s) modelo(s) teórico(s) que dirige(m) a investigação.
7 Fonte de Incertezas	...das fontes de incerteza dos dados coletados, avaliando se são destacadas as imprecisões dos instrumentos utilizados assim como problemas no controle de variáveis que são realizadas com o propósito de amenizar a influência de aspectos não considerados no(s) modelo(s) teórico(s) que dirige(m) a investigação.
8 Conclusões	...das conclusões da investigação, avaliando se as mesmas são amparadas em confrontações entre dados experimentais e predições baseadas em modelos científicos.

Estudante 1

Na Tabela 6.2, são sintetizadas as análises dos relatórios confeccionados pela Estudante 1 em função dos itens de avaliação expostos no Quadro 6.8 em uma escala que varia entre 0 e 1. Como já mencionado, os valores apresentados foram computados a partir dos subcritérios presentes no quadro do Apêndice J.

Tabela 6.2 – Avaliações dos relatórios confeccionados pela Estudante 1 sobre atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2.

<i>Atividade</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Teoria Geral</i>	<i>Simplificações</i>	<i>Referentes</i>	<i>Relação teoria-experimento</i>	<i>Representações</i>	<i>Fontes de Incertezas</i>	<i>Conclusões</i>	<i>Médias</i>
<i>Pêndulos</i>	0,75	0,00	0,50	0,50	0,00	0,75	0,25	0,67	0,43
<i>Sistema de Amortecimento Automotivo</i>	0,50	0,75	0,25	0,75	0,67	0,75	0,75	0,67	0,64
<i>Arquimedes e a Coroa do Rei</i>	0,25	1,00	0,50	0,75	0,33	0,50	0,25	0,67	0,53
<i>Resfriamento de Sistemas</i>	1,00	1,00	0,50	0,25	0,67	1,00	0,00	0,33	0,56

As médias expostas na última coluna da Tabela 6.2 podem ser entendidas como uma demonstração de que a evolução global da Estudante 1 sobre o seu domínio do campo conceitual da

modelagem didático-científica foi bastante tímida. Percebe-se que a estudante apresentou avanços e retrocessos em todos os critérios de avaliação, mas que, no cômputo geral, poucas mudanças ocorreram. No que segue, tomando como base os dados da Tabela 6.2, analisaremos as dificuldades e os avanços da Estudante 1 quando defrontada com situações do campo conceitual da modelagem didático-científica conectando evidências coletadas por meio dos relatórios confeccionados pela estudante com dados provenientes de outras fontes de evidências.

O principal avanço identificado nos relatórios da Estudante 1 refere-se à qualidade das exposições das teorias gerais que ampararam os modelos teóricos de referência das suas investigações. No relatório da atividade “Pêndulos”, o primeiro da disciplina, a estudante meramente expõe a equação que foi utilizada, dizendo que o seu referencial teórico era a equação $T = 2\pi\sqrt{l/g}$. Já no relatório da atividade “Resfriamento de Sistemas”, a estudante inicialmente expôs discussões sobre trocas de energia por calor, por irradiação e por evaporação, para somente então apresentar o modelo teórico que dirigiu sua investigação. Parcialmente, essa evolução é explicada pela insistência da professora da disciplina em solicitar aos estudantes um melhor esclarecimento sobre as origens teóricas dos modelos que dirigiam as suas investigações. Em entrevista, questionada sobre o motivo pelo qual não destacava a teoria geral utilizada no seu primeiro relatório, a Estudante 1 argumentou: *“Porque até então a gente só tinha feito um relatório na vida. Acho que é uma questão de achar que o mais importante é explicar detalhadamente o que foi feito. [...] Só coloquei o que eu achava necessário”*.

Outro aspecto sobre o qual pode ser identificada uma evolução é quanto ao uso de ferramentas de representação adequadas. No primeiro relatório da disciplina, da atividade “Pêndulos”, a Estudante 1 usou apenas tabelas para apresentar seus dados coletados. Em uma delas, ela expõe o período de oscilação de distintos pêndulos em função dos diâmetros dos corpos suspensos. A partir disso, ela procura avaliar a influência das dimensões dos corpos suspensos no período desses pêndulos. Nesse caso, é evidente que a apresentação dos dados por meio de um gráfico seria mais adequada para a análise que a estudante procurou realizar. Por outro lado, no último relatório da disciplina, da atividade “Resfriamento de Sistemas”, a estudante naturalmente utilizou gráficos para representar a evolução temporal da temperatura de porções de água, facilitando a análise dos dados coletados na sua investigação.

As respostas da Estudante 1 ao Questionário 1 evidenciam que ela passa a valorizar mais o uso de ferramentas de representação na resolução de problemas no final da disciplina. Em uma das questões, é solicitado que o(a) respondente exponha, se julgar necessário, uma representação do movimento do automóvel investigado no problema que poderia facilitar a compreensão do raciocínio realizado por ela. No teste inicial, ela disse que não seria necessário apresentar qualquer representação: *“Não, pois bastaria saber a distância percorrida por ele [pelo automóvel investigado na questão]”*. Já no teste final, ela esboça um gráfico da velocidade do automóvel em função do tempo representando um decaimento linear da velocidade, o que é coerente com o modelo de movimento retilíneo uniformemente variado utilizado no problema.

Entre os obstáculos enfrentados pela Estudante 1 nas atividades de modelagem, destaca-se a sua dificuldade para apontar as simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos que utiliza. No relatório da atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”, a estudante afirma que no modelo teórico do sistema massa-mola amortecido, que é o modelo que ela utilizou na sua investigação, *“idealizamos que a massa da mola era desprezível, que a massa da esfera era uniforme, que não há atrito entre a mola e o suporte rígido e que a força gravitacional é desprezível”*. No entanto, o modelo utilizado pela estudante não pressupõe uniformidade da massa do corpo suspenso e não despreza a força gravitacional. Além disso, uma simplificação importante considerada nesse modelo é a de baixas velocidades de oscilação do sistema, o que não foi ressaltado pela estudante. Nesse episódio, pode-se identificar, portanto, dois tipos de dificuldades enfrentados pela estudante. Por um lado, ela aponta mais simplificações da realidade do que efetivamente foram consideradas no modelo utilizado por ela. Por outro, ela não destaca uma simplificação da realidade importante que foi considerada nesse modelo. Problemas dessa natureza foram identificados em todos os relatórios confeccionados pela estudante.

Corroborando a dificuldade de apontar simplificações da realidade dos modelos detectada nos relatórios da Estudante 1, as suas respostas ao Questionário 1 apresentam problemas. Como exemplo, analisamos aqui sua resposta para a questão em que é solicitado aos respondentes que exponham as simplificações da realidade consideradas em um problema que envolve o atropelamento de uma criança por um automóvel. No teste inicial, ela afirma ter considerado que *“a massa da vítima [da criança] estaria concentrada em um ponto”*, o que constitui uma simplificação não necessária no modelo utilizado pela estudante, que é o modelo de movimento retilíneo uniformemente variado. Já no final da disciplina, a estudante afirma apenas ter considerado que *“a estrada não possuía buracos”*, o que é uma simplificação coerente com o modelo utilizado pela estudante, pois, para utilizá-lo, é necessário partir do pressuposto de que o automóvel move-se com trajetória retilínea. No entanto, a estudante não destaca qualquer simplificação referente à aceleração do automóvel, que precisa ser considerada constante para utilizar o modelo de movimento retilíneo uniformemente variado.

Em outra questão do Questionário 1, era solicitado que os estudantes apresentassem as simplificações da realidade que precisariam ser consideradas durante a análise dos dados coletados experimentalmente da posição em função do tempo de um móvel que desliza em um trilho de ar. Considerando a aceleração do móvel nula, a Estudante 1, mesmo utilizando um modelo de Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) para analisar os dados, ou seja, usando um modelo da cinemática, afirma que teria de desconsiderar forças resistivas com o ar. No início da disciplina, ela disse: *“Desconsidera-se a resistência do ar”*. No teste final, ela argumentou: *“a aceleração era constante (nula); não havia resistência do ar”*. No entanto, para se utilizar o modelo de MRU, as únicas simplificações que precisam ser feitas é se considerar o movimento do móvel retilíneo e a sua velocidade constante, ou seja, não é necessário se fazer qualquer suposição sobre a dinâmica de forças que agem sobre ele.

Pudemos identificar ainda nas tarefas da Estudante 1 que ela apresentava dificuldades para simplificar os eventos da realidade durante a construção de modelos teóricos. Sua resposta a uma questão do Questionário 1 que envolve a construção de um modelo para representar a posição de um móvel em um trilho de ar em função do tempo evidencia essa dificuldade. Nessa questão, são apresentados dados empíricos da posição do móvel estudado. Esses dados mostram que ele se movimenta com velocidade aproximadamente constante, como é evidenciado na Figura 6.2.

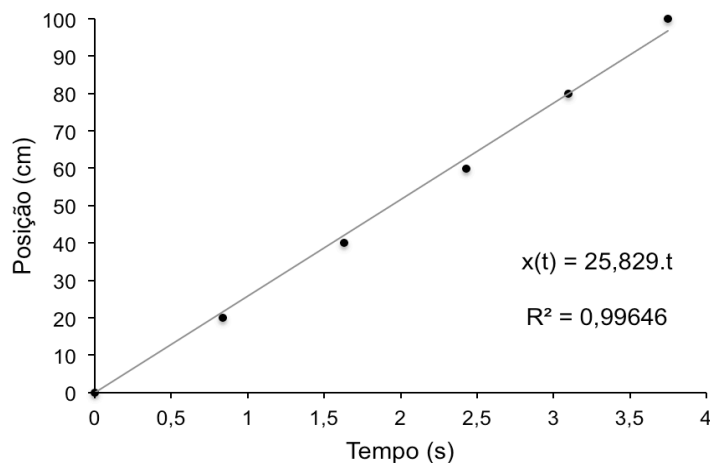


Figura 6.2 – Representação gráfica dos dados propostos na Questão 3 do Questionário 1. Destaca-se que o ajuste de curva linear proposto representa os dados plotados com bastante precisão.

Apesar dos dados propostos demonstrarem que o movimento do corpo representado pelo gráfico da Figura 6.2 é realizado aproximadamente com velocidade constante, a Estudante 1 sugere o uso do modelo de movimento retilíneo uniformemente variado para representá-lo, ou seja, um modelo que pressupõe velocidade variável. Desse modo, a estudante demonstra não aceitar simplificar o movimento do móvel considerando que sua aceleração é nula.

Mais um evento envolvendo a Estudante 1 que evidencia a sua dificuldade para simplificar eventos reais ocorre quando ela procurou resolver um problema proposto na entrevista realizada ao final da disciplina. Nesse problema, foi solicitado que os estudantes construam ou explorem um modelo teórico para representar o movimento de oscilação de um lustre em uma igreja. Refletindo sobre o uso do modelo teórico de pêndulo simples para representar o evento investigado, a Estudante 1 disse:

Tá... Para mim o pêndulo simples é a bolinha pendurada na corda. E, sei lá, um lustre obviamente não é uma bolinha, não só por não ter um formato esférico, mas porque ele não é regular. Tipo, essa figura que eu estou vendo [figura que ilustra a questão] é um círculo com lâmpadas penduradas, com hastes num outro círculo com lâmpadas penduradas. Então a interação dele com o ar é diferente do que com uma bolinha ou com uma massa pontual, que seria a idealização do pêndulo simples. E daí, na figura que tem no Halliday [referindo-se ao livro-texto utilizado na disciplina teórica que aborda oscilações mecânicas] do pêndulo físico, é tipo um... [pausa] parece um pino de boliche para mim. E ele está, tipo, pendurado no teto assim e daí ele oscila.

Identifica-se na fala da estudante a sua dificuldade para aceitar a simplificação do lustre como um corpo pontual.

Outra dificuldade enfrentada pela Estudante 1 nas atividades de modelagem refere-se à identificação dos objetos da realidade considerados nos modelos teóricos utilizados por ela. No relatório da Estudante 1 da atividade “Resfriamento de Sistemas”, por exemplo, ela afirma: “*Os objetos da realidade considerados foram a Terra, o recipiente e o calorímetro, foi levado em conta também o fluido e a umidade relativa do ar*”. Nessa passagem, a aluna parece confundir o ar com uma grandeza utilizada para representar uma de suas propriedades: a sua umidade relativa. Na mesma passagem, a estudante afirma que considerou a Terra no seu modelo teórico. No entanto, o modelo utilizado pela estudante não envolvia nenhuma propriedade da Terra. Já no relatório da atividade “Pêndulos”, utilizando o modelo teórico de pêndulo simples para representar um corpo que oscila suspenso por um fio, afirma ter considerado no seu modelo “*a massa e o fio*”. Nesse caso, além de confundir o corpo suspenso com uma de suas propriedades, a sua massa, a estudante não menciona que o modelo também considera a Terra, pois a força gravitacional que age sobre o pêndulo é decorrente dessa consideração.

Relacionar o delineamento dos arranjos experimentais utilizados nas investigações com seus modelos teóricos de referência também constituiu uma tarefa à qual a Estudante 1 apresentou dificuldades. Em nenhum dos relatórios confeccionados pela aluna foram destacados os procedimentos tomados para controlar variáveis relacionadas com fatores desprezados nos modelos teóricos de referência das investigações. Por exemplo, no relatório da atividade “Resfriamento de Sistemas”, a estudante afirma que trocou de sala de aula para realizar o seu experimento justificando o seguinte: “*A troca de ambiente foi feita porque a nova sala possuía ar-condicionado; assim, a temperatura ambiente deveria variar muito pouco*”. No entanto, ela não destacou que tal ação foi realizada em função de que a solução analítica da Lei de Resfriamento de Newton tem como pressuposto que a temperatura do ambiente circundante ao sistema seja constante, e por isso ela pretendia manter a temperatura da sala constante.

Provavelmente em função dessa dificuldade, a Estudante 1, quando solicitada a apresentar as fontes de incerteza de um experimento, destacava somente fontes de incerteza relacionadas com a imprecisão dos instrumentos de medida utilizados, desprezando incertezas oriundas de problemas relacionados com a falta de controle sobre fatores desprezados nos modelos de referência dos experimentos que efetivamente influenciam em seus resultados. No relatório da atividade “Arquimedes e a Coroa do Rei”, por exemplo, a estudante justifica as diferenças identificadas entre duas medidas realizadas por meio de métodos distintos dizendo: “*A diferença observada pode ser devido à calibragem das balanças, ou a equívocos no momento da leitura dos dados*”. Raciocínios semelhantes foram encontrados em todos os relatórios confeccionados pela estudante. Por outro lado, na Questão 3c do Questionário 1, quando solicitada a justificar eventuais diferenças entre os dados preditos por meio do modelo utilizado para resolver o problema e os dados experimentais, a estudante disse: “*A posição [...] apresentou um valor menor do que o de tabela devido à resistência do ar que teria influenciado na aceleração*”. Ainda que a resistência do ar não tenha sido efetivamente desprezada no modelo utilizado pela estudante, a sua manifestação demonstra uma tentativa de

destacar um fator desprezado no modelo teórico de referência que não é perfeitamente controlado no experimento, o que implica em incertezas nas medidas realizadas.

Pode-se constatar também que as conclusões apresentadas pela Estudante 1 em dois relatórios não eram baseadas em evidências experimentais. No relatório da atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”, por exemplo, ela afirmou que a constante de amortecimento do detergente era maior que a do álcool mesmo tendo os seus dados experimentais evidenciado o contrário: *“Antes da experiência foi proposto que quanto menor a constante b [constante de amortecimento de um sistema massa-mola amortecido] maior seria o período de oscilação. [...] Por conta disso, o tempo de oscilação do álcool em gel foi maior que o do detergente Limpol [marca do detergente], mesmo o primeiro tendo um b maior”*. Ela concluiu ainda, no relatório da atividade “Resfriamento de Sistemas”, que o decaimento da temperatura de um líquido é exponencial mesmo sem ter procurado ajustar os dados coletados a uma curva dessa natureza: *“Como havíamos previsto a temperatura da água dos três recipientes diminuiu com o tempo de modo exponencial, essa conclusão pode ser observada nos gráficos”*. Desse modo, é possível constatar que a Estudante 1 apresentava uma crença bastante forte na validade dos modelos teóricos, independente do que ocorria nos experimentos. A estudante demonstra isso em outro relatório quando avaliava se a proporção de chumbo e alumínio medida em uma amostra na atividade “Arquimedes e a Coroa do Rei” era razoável: *“Não podemos ter certeza se esta proporção está correta, pois a única informação que tínhamos era de que o objeto era feito de alumínio e chumbo, porém esse resultado pode ser confiável, pois a relação que foi utilizada inicialmente é uma relação verdadeira”*. Percebe-se que a aluna acredita fielmente na validade dos modelos, e não procura analisá-lo criticamente.

Por outro lado, pode-se identificar ainda uma ocasião em que a Estudante 1, baseando-se em resultados experimentais, chegou a uma conclusão equivocada do ponto de vista científico. Na atividade “Pêndulos”, a estudante identificou em seus dados uma relação de proporcionalidade entre a massa do corpo suspenso de pêndulos e os seus períodos. Desprezando que os pêndulos utilizados na sua investigação tinham também seções transversais distintas, a estudante concluiu que a força resistiva do ar sofrida por um corpo depende da sua massa. Ela afirmou em seu relatório: *“Quanto mais pesado o objeto, menos ele sofre resistência do ar”*.

Podemos concluir, portanto, que a Estudante 1 apresentou avanços em sua habilidade para: i) expor as teorias gerais que amparam os modelos teóricos de referência das investigações, e ii) escolher ferramentas adequadas para representar modelos científicos e para sintetizar dados coletados experimentalmente. No entanto, a estudante não evidenciou ter evoluído em suas habilidades para: i) estabelecer e identificar simplificações da realidade consideradas em modelos teóricos, ii) identificar os objetos da realidade considerados em modelos teóricos, iii) relacionar as simplificações da realidade consideradas no modelo teórico de referência de um experimento com procedimentos de controle de variáveis e com fontes de incerteza, e iv) construir conclusões experimentais efetivamente embasadas em dados empíricos.

Estudante 2

Assim como foi realizado com a análise dos resultados da Estudante 1, os avanços e as dificuldades do Estudante 2 serão avaliados partindo dos seus relatórios. A síntese da avaliação desses relatórios, realizada utilizando os itens apresentados no Apêndice J, é apresentada na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Avaliações dos relatórios confeccionados pela Estudante 2 sobre atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2.

Atividade	Objetivos	Teoria Geral	Simplificações	Referentes	Relação teoria-experimento	Representações	Fontes de Incertezas	Conclusões	Médias
<i>Pêndulos</i>	1,00	1,00	1,00	0,00	0,33	1,00	0,50	1,00	0,73
<i>Sistema de Amortecimento Automotivo</i>	1,00	1,00	0,00	0,75	1,00	1,00	0,00	0,67	0,68
<i>Arquimedes e a Coroa do Rei</i> ³⁵	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Resfriamento de Sistemas</i>	1,00	1,00	0,50	0,00	1,00	0,75	0,00	1,00	0,66

Em função da sua formação anterior como químico, o Estudante 2 apresentava nitidamente uma habilidade maior para enfrentar as situações envolvidas nas atividades de modelagem propostas na disciplina. A qualidade das suas tarefas era superior a de seus colegas. Destaca-se, por exemplo, que apenas o Estudante 2 no relatório da atividades “Pêndulos” ressaltou as implicações das simplificações da realidade consideradas sobre o modelo teórico utilizado na sua investigação. Nele, o estudante destacou, por exemplo, que precisava desprezar as dimensões do corpo suspenso em um pêndulo para considerar o seu momento de inércia I como $I = m.L^2$, onde m é a massa desse corpo e L é o comprimento do fio de sustentação do pêndulo. Usualmente, os estudantes deduziam as equações utilizadas nas atividades e, somente após isso, enumeravam as simplificações da realidade consideradas nessas deduções.

Outro caso que demonstra a diferença de conhecimento do Estudante 2 e seus colegas é evidenciada quando eles foram deparados, em entrevista, com um problema que envolvia o modelo teórico que foi investigado na atividade “Resfriamento de Sistemas”. Apenas o Estudante 2 foi capaz, mesmo que de modo confuso, de destacar ao menos uma simplificação considerada na Lei de Resfriamento de Newton. Ele disse que, nesse modelo, a troca de energia do sistema é “*proporcional à uma diferença de temperatura e uma constante de proporcionalidade que considera todo o resto que não é só a diferença de temperatura. A condução térmica, a passagem... trocar calor, a geometria do material, se um fluido está trocando calor com ele*”. O estudante, com essa passagem, parece querer destacar que a taxa com que um corpo troca energia na forma de calor, de acordo com

³⁵ O Estudante 2 não entregou o relatório da atividade “Arquimedes e a Coroa do Rei”.

a Lei de Resfriamento de Newton, é proporcional, a menos de uma constante, à diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente. Nenhum estudante fez qualquer menção sobre a consideração adotada em tal lei de que essa diferença de temperatura é pequena, por exemplo.

Desde as primeiras discussões finais, o Estudante 2 costumava destacar as relações entre os seus experimentos e os modelos teóricos de referência utilizados. Na discussão final da atividade “Pêndulos”, por exemplo, ele disse: *“Usamos um barbante, um fio fino vermelho de massa pequena que se comportaria de forma ideal. E toda a massa, então, do sistema bolinha-barbante estaria no centro de massa da bolinha”*. Percebe-se que o estudante procura destacar procedimentos tomados com o intuito de aproximar o arranjo experimental do modelo teórico utilizado para representá-lo.

Apesar do conhecimento prévio destacado que o Estudante 2 já possuía antes da disciplina, ainda assim foram identificadas algumas dificuldades suas no enfrentamento de algumas tarefas propostas na disciplina. No Questionário 1, por exemplo, quando os alunos eram indagados no teste inicial se teriam de considerar alguma simplificação da realidade para resolver um dos problemas propostos, apenas o Estudante 2 destacou uma simplificação da realidade realmente considerada no modelo que ele utilizava, que era um modelo de movimento retilíneo uniformemente variável. No entanto, percebe-se que essa resposta não foi imediata. Ele disse: *“Não, pois é possível se determinar a aceleração a qual o carro é submetido, isso já considera aspectos que normalmente são simplificados, como resistência do ar. PS: Sim, que a aceleração foi constante durante a frenagem”*. Evidencia-se que a observação que o estudante fez ocorreu após ele ter refletido um tanto mais sobre sua resposta, o que demonstra que ele não estava preparado para enfrentar esse tipo de situação no início da disciplina.

Outro episódio que mostra que as situações enfrentadas pelo Estudante 2 o levaram a refletir sobre aspectos que ele não era acostumado ocorreu na discussão final da atividade “Pêndulos”. Quando questionada sobre os objetos do mundo físico levados em conta no modelo teórico de referência do experimento realizado, a Estudante 3 destacou *“o comprimento do fio e a... e mais a bolinha, não?”*. O Estudante 2, que era integrante do mesmo grupo da Estudante 3, sinalizou que concordava com ela, evidenciando que também confundia o fio do pêndulo utilizado com uma de suas propriedades: o seu comprimento. Cabe ressaltar, no entanto, que é possível que essa confusão seja apenas um desleixo linguístico do estudante, e que ele, assim como a Estudante 3, quando menciona o comprimento do fio, esteja verdadeiramente querendo destacar o próprio fio.

Assim como a Estudante 1, o Estudante 2 também demonstra ter dificuldades para simplificar os eventos para representá-los por meio de modelos científicos. Quando defrontado com um problema na entrevista realizada ao final da disciplina que envolvia a construção de um modelo para representar o movimento do lustre de um igreja, o estudante afirma:

Eu não consegui simplificar isso de uma forma simples. Mas para descrever o movimento do lustre, modelos de pêndulo parecem razoáveis. Só que para considerar, digamos, tu usa a velocidade máxima no modelo do pêndulo como ele simples é simples demais. Tem o atrito com o ar. Enfim, a corrente não é exatamente um exemplo de fio desprovido de massa.

O pesquisador sugeriu então que o estudante considerasse um lustre sustentado por uma corrente muito leve, e questionou o estudante se ele poderia então usar o modelo de pêndulo

simples. Sua resposta foi taxativa: “*Não, pelo menos teria que considerar o amortecimento*”. Essas manifestações demonstram que o estudante entende que os modelos teóricos necessariamente precisam representar a realidade com muita precisão. Outra evidência disso ocorreu na discussão final da atividade “Pêndulos”. Quando questionado se havia considerado o ar no seu modelo que representava o movimento de um pêndulo, o estudante respondeu com um tom de constrangimento: “*Não entrou em nosso tratamento*”. O constrangimento apresentado pode ser interpretado com um incômodo decorrente de não estar usando um modelo completo, o que implica em imprecisões em suas conclusões. Essa incômodo do estudante pode ser decorrente de sua concepção sobre a natureza da Ciência, pois, como foi mencionado anteriormente nesta seção, o estudante demonstrou entender que existem casos em que os modelos científicos não consideram simplificações da realidade. Esse resultado vai ao encontro dos achados de Buffler, Lubben e Ibrahim (2009), que concluíram que os procedimentos realizados pelos estudantes em atividades experimentais são relacionados com as suas concepções sobre a natureza da Ciência.

Apesar de apresentar poucas dificuldades no enfrentamento dos problemas propostos nas atividades de modelagem, o Estudante 2 não evidenciou avanços. cursando mestrado concomitantemente com a disciplina, o estudante demonstrou não se dedicar e nem se interessar pelas atividades. Os maiores obstáculos enfrentados pelo Estudante 2 referem-se à sua dificuldade para simplificar eventos com o intuito de modelá-los.

Estudante 3

Mantendo a estratégia de apresentação de dados utilizada com os estudantes 1 e 2, iniciamos a discussão sobre os avanços e as dificuldades da Estudante 3 pela Tabela 6.4, onde são sintetizados os resultados da avaliação dos seus relatórios, realizada com os itens apresentados no Apêndice J.

Tabela 6.4 – Avaliações dos relatórios confeccionados pela Estudante 3 sobre atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2.

<i>Atividade</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Teoria Geral</i>	<i>Simplificações</i>	<i>Referentes</i>	<i>Relação teoria-experimento</i>	<i>Representações</i>	<i>Fontes de Incertezas</i>	<i>Conclusões</i>	<i>Médias</i>
<i>Pêndulos</i>	0,75	1,00	0,75	0,00	0,67	0,50	0,00	1,00	0,58
<i>Sistema de Amortecimento Automotivo³⁶</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Arquimedes e a Coroa do Rei</i>	1,00	1,00	0,75	0,50	0,67	1,00	0,25	1,00	0,77
<i>Resfriamento de Sistemas</i>	0,75	1,00	0,75	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,56

³⁶ A Estudante 3 não entregou o relatório da atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”.

Analisando-se os dados da Tabela 6.4, é possível se identificar um avanço da Estudante 3 durante a disciplina em dois aspectos: i) na sua capacidade de identificar os objetos da realidade representados no modelo teórico de referência; e ii) na sua habilidade de escolher e utilizar ferramentas de representação adequadas para enfrentar situações de modelagem. No relatório da atividade “Pêndulos”, primeiro da disciplina, a estudante nem ao menos procurou destacar os objetos da realidade representados pelo modelo teórico de pêndulo simples na sua investigação. Além disso, ela optou por apresentar seus dados, que se referiam ao período de um pêndulo em função da sua amplitude, em uma tabela. Nesse caso, a exposição desses dados em um gráfico seria uma escolha mais adequada para analisar o aumento do período do pêndulo em função da sua amplitude.

No segundo relatório da estudante, sobre a atividade “Arquimedes e a Coroa do Rei”, ela confunde objetos considerados no modelo teórico de referência do seu experimento com instrumentos utilizados na investigação. Por exemplo, ela afirma que considerou uma balança no modelo teórico que norteou seu experimento, quando, efetivamente, a balança citada pela estudante não era um referente desse modelo, mas sim um instrumento que foi utilizado na coleta de dados do seu estudo. Além disso, a Estudante 3 evidenciou confundir objetos da realidade com suas propriedades na discussão final da atividade “Pêndulos”. Questionada sobre os objetos do mundo físico levados em conta no modelo teórico de pêndulos simples, ela destacou “*o comprimento do fio e a... e mais a bolinha, não?*”.

No relatório da última atividade da disciplina, denominada “Resfriamento de Sistemas”, a estudante destaca adequadamente os objetos da realidade considerados no seu modelo teórico de referência. Além disso, ela opta por expor os dados coletados no seu experimento na forma de gráficos, o que é uma escolha apropriada para facilitar a contrastação da predição da Lei de Resfriamento de Newton, de que a temperatura de corpos que resfriam decai exponencialmente, com os dados experimentais.

Ainda que tenha destacado as simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos que nortearam seus experimentos, a Estudante 3 apresentou dificuldades para relacionar essas simplificações com os experimentos que ela realizou. Nos três relatórios confeccionados, ela primeiramente expunha as simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos e, em seguida, sem avaliar as implicações dessas simplificações no seu experimento e no modelamento do evento estudado, deduzia as equações utilizadas nas suas investigações. Por exemplo, ainda que tenha destacado que considerou pontuais os corpos suspensos nos pêndulos investigados na primeira atividade de modelagem da disciplina, a estudante não expôs os procedimentos realizados por ela com o intuito de minimizar a influência das dimensões dos corpos suspensos utilizados nos pêndulos do seu experimento nos seus períodos de oscilação.

Provavelmente em função dessa dificuldade apresentada pela estudante de relacionar os modelos teóricos com os experimentos realizados, ela não apresentou em nenhum dos relatórios qualquer reflexão sobre as fontes de incerteza das suas investigações. Por outro lado, já no início da disciplina, a resposta da Estudante 3 para a Questão 3c do Questionário 1 evidencia que ela relacionava as diferenças entre predições e evidências em experimentos científicos com as

simplificações da realidade consideradas durante o estabelecimento do modelo que norteia os experimentos. Nessa questão, a estudante é questionada sobre os motivos que explicam as diferenças entre os dados experimentais propostos na tarefa e o modelo que ela apresenta para representá-los. A estudante afirma que *“há discrepâncias não esperadas pela exclusão do parâmetro de resistência do ar”*. Desse modo, ela relaciona um fator supostamente desprezado no seu modelo, e que não foi completamente controlado no experimento proposto, com as diferenças entre as suas previsões e os dados empíricos expostos na questão.

Um fator que demonstra maturidade para enfrentar situações de modelagem foi evidenciado quando ela procurou resolver um problema proposto na entrevista conduzida com ela ao final da disciplina. Nesse problema, foi solicitado que a estudante apresentasse um modelo teórico para representar o movimento de um lustre em uma igreja procurando estimar a sua velocidade máxima quando oscila. A estudante disse: *“Eu acho que o modelo que poderia ser utilizado para descrever o movimento do lustre... Eu poderia utilizar o modelo de pêndulo simples, porque eu acho que eu iria achar um resultado de velocidade máxima que ia ser um pouco maior até do que o real. Daí não ia ter problema, porque não ia extrapolar”*. Tal passagem mostra que ela foi capaz de estimar a influência de fatores desprezados no modelo teórico de pêndulo simples sobre o movimento real do lustre, o que evidencia o uso de um esquema de ação complexo dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica.

Concluindo, podemos identificar avanços da Estudante 3 na sua capacidade de identificar os referentes de modelos teóricos e de escolher ferramentas de representação adequadas tanto para sintetizar dados experimentais como para esboçar a organização de sistemas. No entanto, a estudante apresentou dificuldades para relacionar os experimentos com os modelos que os norteiam e para realizar reflexões sobre as fontes de incertezas das suas investigações empíricas.

Estudante 4

Na Tabela 6.5, sintetizamos as avaliações dos relatórios do Estudante 4 em cada um dos relatórios confeccionados por ele.

O avanço mais significativo identificado nos relatórios do Estudante 4 foi na sua capacidade de apresentar a teoria geral utilizada no modelo teórico que ampara os seus experimentos. Na primeira atividade de modelagem, denominada “Pêndulos”, o estudante somente expôs as equações que utilizou nas suas investigações. Questionado sobre essa dificuldade em entrevista, o Estudante 4 disse, referindo-se ao referencial teórico apresentado nos seus relatórios, que *“não tinha ideia do que colocar ali”*. Já na última atividade de modelagem, sobre o “Resfriamento de Sistemas”, o estudante apresentou considerações sobre formas de troca de energia via calor para então expor o modelo teórico de referência do seu experimento.

Um dos principais obstáculos enfrentados pelo Estudante 4 nas atividades de modelagem era a sua dificuldade para expor as simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos de referência dos seus experimentos. No relatório da atividade “Pêndulos”, por exemplo, o estudante nem ao menos procurou expô-las. No final da disciplina, quando defrontado em entrevista com um

problema que envolvia o modelo de pêndulo simples, o estudante também não foi capaz de explicitar as simplificações consideradas no modelo. Nos relatórios das atividades “Sistema de Amortecimento Automotivo” e “Arquimedes e a Coroa do Rei”, por sua vez, o estudante buscou apresentar as simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos que utilizou, sendo que, na terceira atividade de modelagem, ele foi capaz de realizar tal tarefa de forma adequada. Já no último relatório do estudante, sobre a atividade “Resfriamento de Sistemas”, provavelmente em função da maior complexidade do modelo teórico utilizado em relação aos utilizados nas três primeiras atividades, o estudante novamente não expôs as simplificações consideradas na análise do seu experimento.

Tabela 6.5 – Avaliações dos relatórios confeccionados pela Estudante 4 sobre atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2.

<i>Atividade</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Teoria Geral</i>	<i>Simplificações</i>	<i>Referentes</i>	<i>Relação teoria-experimento</i>	<i>Representações</i>	<i>Fontes de Incertezas</i>	<i>Conclusões</i>	<i>Médias</i>
<i>Pêndulos</i>	0,50	0,00	0,00	0,75	0,67	0,75	0,50	0,67	0,48
<i>Sistema de Amortecimento Automotivo</i>	0,75	0,00	0,25	0,75	0,00	0,50	0,50	0,67	0,43
<i>Arquimedes e a Coroa do Rei</i>	0,50	0,50	0,75	0,00	0,67	1,00	0,50	0,67	0,57
<i>Resfriamento de Sistemas</i>	1,00	1,00	0,00	0,00	0,33	1,00	0,50	0,67	0,56

Uma evidência de avanço do Estudante 4 na capacidade de enfrentar situações de modelagem é identificada em suas respostas para uma questão do Questionário 1 em que é solicitado que o estudante exponha as simplificações da realidade consideradas no modelo teórico que ele utiliza na situação-problema proposta. Essa situação envolve uma perícia de um atropelamento fictício de uma criança por um automóvel. No teste inicial, o aluno não é capaz de construir um modelo para resolver o problema enfrentado, e afirma apenas que iria “*desconsiderar a resistência do ar*”. No teste final, o aluno foi capaz de apontar um modelo para enfrentar o problema proposto, defendendo o uso da equação de Torricelli, e afirmou que, para isso, precisaria considerar “*que a frenagem foi constante durante o percurso, e que a estrada era plana*”, o que são simplificações coerentes frente ao modelo que ele utiliza na questão. Tal resposta evidencia um indício de avanço do domínio do estudante sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica.

É importante destacar aqui que o Estudante 4, assim como o Estudante 2, acredita na possibilidade de analisar um experimento usando um modelo teórico em que não são consideradas idealizações ou aproximações. Isso foi demonstrado em sua resposta a uma questão do Questionário 1 em que era solicitado que os estudantes avaliassem se teriam de considerar simplificações da realidade durante a análise de dados em um experimento confeccionado com o objetivo de se estudar os fatores que influenciam na intensidade da força resistiva do ar exercida sobre corpos. O

Estudante 4, quando questionado no início da disciplina se seriam consideradas simplificações nesse problema, afirma: *“Não, pois o ar, por exemplo, seria importante”*. Resposta semelhante foi apresentada ao final da disciplina. Desse modo, pode-se dizer que esse estudante acredita ser possível considerar a realidade em sua completude durante a análise de dados coletados experimentalmente. Questionado em entrevista sobre sua resposta, argumentou: *“É que tu não tem muito o que simplificar, tem? É que nesse experimento tu tá calculando a força resistiva”*.

Outra dificuldade identificada em um dos seus relatórios é a apresentação de mais simplificações do que as que efetivamente foram consideradas no modelo teórico utilizado na sua investigação. No seu relatório da atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”, o estudante afirma ter desprezado a pressão atmosférica no modelo de sistema massa-mola amortecido, o que é uma consideração desnecessária para o referido modelo.

A falta de clareza sobre a necessidade de se considerar simplificações da realidade para construir representações de eventos reais levou o Estudante 4 a apresentar dificuldade de relacionar seus experimentos com essas simplificações. Em nenhum dos relatórios produzidos pelo estudante foram destacados procedimentos realizados para controlar nos experimentos os fatores desprezados nos modelos teóricos de referência das investigações. Isso pode ser uma das causas da tendência detectada nos relatórios do Estudante 4 de atribuir as fontes de incerteza dos experimento apenas à imprecisão dos instrumentos de medida utilizados.

Por fim, assim como os estudantes 1 e 2, o Estudante 4 também demonstra ter dificuldades para simplificar eventos reais para construir modelos científicos. Na questão do Questionário 1 em que são apresentados dados da posição de um móvel que desliza sobre um trilho de ar em função do tempo (expostos na Figura 6.2), quando solicitado que construísse um modelo para representar o movimento do móvel, ainda que os dados evidenciassem um movimento com velocidade constante, o Estudante 4 optou por usar o modelo de movimento retilíneo uniformemente variado. Parece que ele não aceita simplificar o movimento do corpo investigado como um movimento com velocidade constante, o que provavelmente decorreu da sua concepção sobre os modelos científicos que, como foi mencionado anteriormente nesta seção, envolve a crença de que os modelos podem, em alguns casos, representar precisamente eventos reais.

Resumidamente, podemos dizer que o Estudante 4 apresentou avanços na sua capacidade de expor a teoria geral que ampara os modelos teóricos que ele utilizou nas suas investigações. No entanto, o estudante apresentou grandes dificuldades para identificar e relacionar as simplificações da realidade consideradas nesses modelos com os experimentos realizados nas atividades de modelagem.

Estudante 5

Os dados apresentados na Tabela 6.6 sintetizam a análise dos relatórios confeccionados pela Estudante 5.

Tabela 6.6 – Avaliações dos relatórios confeccionados pela Estudante 5 sobre atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica conduzidas no Estudo 2.

<i>Atividade</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Teoria Geral</i>	<i>Simplificações</i>	<i>Referentes</i>	<i>Relação teoria-experimento</i>	<i>Representações</i>	<i>Fontes de Incertezas</i>	<i>Conclusões</i>	<i>Médias</i>
<i>Pêndulos</i>	0,75	0,00	0,50	0,50	0,67	0,75	0,25	0,67	0,51
<i>Sistema de Amortecimento Automotivo</i>	0,75	1,00	0,00	0,75	0,67	0,75	0,25	1,00	0,65
<i>Arquimedes e a Coroa do Rei</i>	0,50	0,75	0,75	0,50	0,67	0,75	0,50	0,67	0,64
<i>Resfriamento de Sistemas</i>	0,50	0,75	0,75	1,00	0,33	0,75	0,00	1,00	0,64

Assim como os estudantes 1 e 4, a Estudante 5 demonstrou ter evoluído em sua capacidade de apresentar a teoria geral utilizada nas suas investigações. Enquanto que no relatório da atividade “Pêndulos” a estudante apenas apontava as equações que utilizou, no relatório da atividade “Resfriamento de Sistemas” a estudante debateu detalhadamente sobre as trocas de energia envolvidas no sistema que investigava. Em entrevista, questionada sobre o motivo pelo qual não destacava as origens teóricas dos modelos científicos que ela utilizou no primeiro relatório, a Estudante 5 justificou argumentando que tinha receio de cometer erros nessa exposição. Ela disse: *“É que é complicado escrever. Porque, ou tu fica enrolando e daí tu escreve besteira, ou tenta resumir o máximo possível, mas tu deixa de fora coisas importantes”*.

Um aspecto que esteve ausente de todos os relatórios da Estudante 5 foi o estabelecimento de um vínculo entre as simplificações da realidade consideradas no modelo teórico de referência de suas investigações e o delineamento de seus experimentos. Ainda que tenha mencionado as idealizações consideradas nos seus modelos em três dos seus quatro relatórios, a estudante, assim como os estudantes 1, 3 e 4, não relaciona essas simplificações com procedimentos de controle de variáveis em seus experimentos ou até mesmo com as deduções matemáticas presentes em seus relatórios. A falta de vínculo entre modelo e experimento nas investigações se mostrou presente também na resposta da estudante em uma questão do Questionário 1 em que ela é questionada se seria necessário considerar alguma simplificação da realidade na análise dos dados coletados em um experimento proposto por ela para investigar os fatores que influenciam na intensidade da força resistiva do ar sobre corpos que se movem em relação a ele. A resposta da Estudante 5 foi:

Acho que não, pois o objetivo seria avaliar o comportamento da força resistiva do ar em situações com objetos diferentes e, geralmente, é ela que desprezamos. Qualquer “imperfeição” (rugosidades, formatos irregulares) dos objetos também seria importante não desprezar (ou idealizar que não existem), pois são fatores relevantes para o experimento.

A estudante demonstra acreditar que pode construir uma representação de um experimento em que considera a realidade em sua totalidade. Questionada se mantinha sua resposta na entrevista ao final da disciplina, a estudante reiterou:

É que assim: na minha cabeça, se eu tenho uma superfície bem lisa, digamos assim, que nem o vidro, vai ser afetado. Ainda mais caindo! Vai ser afetado de uma certa maneira. E se ela for, sei lá, uma bolinha de golfe, eu imaginei que tem uma resistência com o ar diferente. Então eu teria que saber, comparar essas variáveis, ver de que maneira elas influenciam ou não, ou tentar manter todo mundo igual, tipo, ou todo mundo bem liso, ou todo mundo nada liso. Porque senão é uma coisa que eu estou variando que pode afetar meu experimento.

A resposta da estudante demonstra que ela, assim como os estudantes 1, 2 e 4, também tem dificuldades para estabelecer simplificações da realidade durante a construção de modelos científicos.

Foram identificadas situações que demonstram que, assim como os estudantes 1, 2 e 4, a Estudante 5 apresenta dificuldades para aceitar a simplificação de eventos para representá-los por meio de modelos científicos. Ela, repetindo a resposta dos estudantes 1 e 4, também sugere o uso de um modelo de movimento retilíneo uniformemente variado para representar os dados da posição de um móvel que se desloca em um trilho de ar (expostos na Figura 6.2). Já defrontada durante a entrevista realizada ao final da disciplina com o problema em que ela precisaria construir um modelo para representar o movimento de um lustre em uma igreja, a Estudante 5 não se sente confortável para desprezar a massa da corrente que sustenta o lustre investigado no problema para que fosse possível se utilizar o modelo de pêndulo simples para representá-lo. Ela disse:

Eu imagino que a resistência com o ar seria mínima. [pausa] Eu não consigo parar de pensar na corrente. Tá. [pausa] Mas, se for pêndulo simples, então a corda não tem massa, inextensível. [pausa] Sei lá, é que para mim não se encaixa, porque para mim a corrente é muito pesada para eu considerar que ela não tem massa.

O seguinte diálogo sucedeu:

Estudante 5: *O lustre não é uma massa pontual.*

Pesquisador: *Sim. Massa pontual não existe. Então eu não posso utilizar o pêndulo simples para nada?*

Estudante 5: *É que... não sei. Acho que também por causa da corrente. Porque ela tem massa. A corrente provavelmente vai ser de ferro, ela vai ser pesada, e então eu não posso desprezar o fato da corrente estar ali.*

Fica claro que a estudante não procura avaliar se a massa da corrente de sustentação é desprezível frente à massa do lustre, mas sim analisar se a massa da corrente é pequena ou não, isoladamente. Além disso, a estudante demonstra querer simplificar minimamente o evento investigado, construindo o modelo mais preciso possível independentemente da necessidade estabelecida pelo problema enfrentado.

Por outro lado, foram identificadas também manifestações em que a Estudante 5 relacionava o controle de variáveis em experimentos com as simplificações consideradas nos seus modelos teóricos de referência. Por exemplo, ainda que a estudante não tenha explicado no seu relatório da atividade “Resfriamento de Sistemas” o motivo pelo qual realizou seu experimento em um ambiente

com o aparelho de ar-condicionado ligado, ela explicou em entrevista dizendo: *“Pra tentar... [pausa] escolher as variáveis que a gente iria deixar constantes e deixar só elas constantes”*. A estudante argumenta então que a Lei de Resfriamento de Newton pressupõe que a temperatura ambiente é constante, o que ela procurou reproduzir no seu experimento usando o aparelho de ar-condicionado. Outra ocasião que demonstra que a Estudante 5 relaciona o controle de variáveis dos experimentos com as simplificações consideradas nos seus modelos teóricos de referência aconteceu na discussão final da atividade “Pêndulos”. O grupo das estudantes 1 e 5 escreveu nos quadros brancos as relações “L constante” e “A constante”, ressaltando que o comprimento do fio e a amplitude de oscilação dos pêndulos foram mantidas constantes nos seus experimentos. Uma das participantes, que evadiu da disciplina, justificou esses registros dizendo: *“E aí a gente montou o experimento, né... Pendurando o fio, que a gente considerou um fio ideal, inextensível com massa desprezível, num ponto fixo do suporte, desconsiderando qualquer tipo de trepidação e desvios, e a gente, pra manter sempre as mesmas condições para o experimento, a gente procurou deixar sempre a amplitude constante para evitar qualquer diferença assim do modelo que não fosse o diâmetro da bolinha”*. Nesse momento, a Estudante 5 complementou explicando o motivo de terem usado bolas de metal como corpos suspensos nos pêndulos investigados nos seus experimentos: *“... pois o metal é mais denso que o plástico e o isopor, ou seja, há mais massa concentrada num menor volume, o que chega bem perto da definição de massa pontual. Assim, esse corpo é o único que tem uma massa que podemos chamar de desprezível”*. Ainda que confunda em suas palavras o desprezo das dimensões do corpo suspenso com o desprezo da massa do corpo suspenso, a estudante demonstra ter consciência de que construiu um experimento em que ela procura reproduzir simplificações que foram consideradas no seu modelo teórico de referência, que, no caso, é o modelo teórico de pêndulo simples.

Outra dificuldade enfrentada pela Estudante 5 nas atividades de modelagem é relacionada, de modo semelhante à Estudante 1, com a construção de conclusões nas investigações com base nas evidências coletadas. No relatório da atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”, por exemplo, a estudante afirma: *“Os dados obtidos não estão muito longe do esperado a partir do modelo teórico. [...] Apesar disso há uma certa incoerência nos valores de b [constante de amortecimento do sistema] para o álcool e o detergente, quando os comparamos. Nos dois líquidos o tempo de oscilação foi aproximadamente o mesmo mas seus valores de b são bem distintos”*. Nessa passagem, pode-se perceber que a estudante valida o modelo teórico utilizado independente da incoerência importante que ela detectou entre as predições do seu modelo teórico de referência e os dados coletados empiricamente. Demonstra-se assim que a estudante, ainda que argumente que procura avaliar a adequação dos modelos para representar eventos reais, internamente parte do pressuposto de que o seu modelo teórico de referência é válido na sua investigação. Esse dado vai ao encontro dos achados de Marineli e Pacca (2014), que identificam estudantes que, em atividades experimentais, *“afirmam que os resultados concordam com o esperado ou que ‘deu certo’ mesmo que os dados mostrem o contrário”*.

Outra dificuldade demonstrada pela estudante para construir conclusões baseadas em evidências foi identificado numa oportunidade em que a Estudante 5 construiu conclusões equivocadas do ponto de vista científico com base em dados experimentais. Na atividade “Pêndulos”, assim como a Estudante 1, a Estudante 5 concluiu que a força resistiva do ar sofrida por um corpo depende da sua massa. Tal conclusão derivou dos dados das estudantes que mostravam que os pêndulos mais massivos apresentaram períodos de oscilação maiores. No entanto, os pêndulos mais massivos usados pelas estudantes também apresentavam seções transversais maiores, e isso implicava em forças resistivas mais intensas e em períodos de oscilação mais longos. Referindo-se aos pêndulos utilizados em sua investigação que continham corpos suspensos menos massivos, a Estudante 5 disse: “[...] *materiais leves sofrem mais resistência do ar, o que faz com que o período seja maior*”. Cabe destacar que, na discussão final da atividade “Pêndulos”, foi realizado um debate sobre a força resistiva do ar que age sobre os pêndulos utilizados na investigação das estudantes 1 e 5. No entanto, esse debate não foi suficiente para que as estudantes compreendessem a dinâmica das forças que agiam sobre os pêndulos utilizados nos seus experimentos enquanto eles oscilavam, demonstrando que elas confundiam o efeito da força resistiva, que efetivamente depende da massa do corpo suspenso, com a própria força resistiva, que depende do meio em que o pêndulo está imerso, da sua forma, do seu tamanho, da sua seção transversal, mas não da sua massa.

Podemos concluir que a Estudante 5 avançou durante a disciplina principalmente em sua capacidade de expressar as origens teóricas dos modelos teóricos utilizados em suas investigações, conseguindo apresentar com clareza as teorias gerais que amparam os seus modelos teóricos. Entre as suas dificuldades, pode-se identificar ocasiões em que a estudante demonstrava não relacionar satisfatoriamente o modelo teórico utilizado nas suas investigações com os experimentos realizados. Além disso, a estudante mostrou ter dificuldades para aceitar evidências experimentais que vão de encontro com suas expectativas em função de assumir fortemente a crença de que o conhecimento científico é verdadeiro.

Considerações sobre os avanços e dificuldades dos estudantes relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica

A análise de dados demonstra que as atividades experimentais foram frutíferas para defrontar os estudantes com situações que envolvem conceitos e esquemas de ação relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica, porém os avanços dos estudantes em suas competências para enfrentar situações de modelagem foram bastante tímidos. As aprendizagens mais evidentes ocorreram nas suas capacidades de expor as teorias gerais usadas em suas investigações e de escolher ferramentas de representação adequadas para os problemas enfrentados. Esses avanços podem ser entendidos como progressos dos estudantes nos seus domínios sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica, pois eles tornam os estudantes mais hábeis para enfrentar com sucesso situações em que é necessário se representar simplificada e eventos reais. Usar teorias gerais na construção de modelos teóricos e representar

esquemáticamente modelos científicos são aspectos fundamentais do processo de modelagem científica.

Uma das grandes dificuldades dos estudantes identificada nas atividades de modelagem é relacionar seus experimentos com modelos teóricos de referência. Poucos foram os casos em que os participantes demonstraram compreender que o controle de variáveis promovido em seus experimentos era norteado pelas simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos utilizados. Além disso, essa dificuldade levava os alunos a entender que as únicas fontes de incerteza existentes em experimentos são decorrentes da imprecisão dos instrumentos de medida utilizados, desprezando assim as incertezas que são decorrentes de variações ocorridas em fatores desconsiderados nos modelos teóricos que amparam as investigações. Esse resultado evidenciou a necessidade de se enfatizar aos estudantes como o trabalho experimental se vincula com o processo de modelagem científica. Em decorrência do Estudo Teórico realizado após este estudo, esse foi um aspecto central nos debates realizados nas atividades do Estudo 3.

Outra dificuldade frequente apresentada pelos estudantes é relacionada com a construção de conclusões baseadas em evidências. Os resultados mostraram tanto casos em que os estudantes afirmavam ter corroborado seus referenciais teóricos mesmo quando seus dados empíricos apontavam o contrário, assim como casos em que os estudantes apresentavam conclusões equivocadas do ponto de vista científico baseando-se estritamente nos dados coletados, sem refletir sobre as previsões do modelo teórico de referência dos seus experimentos. Em decorrência desses resultados e da realização do Estudo Teórico, debates sobre a contrastação de previsões e evidências, e sobre as interpretações dessa contrastação durante a confecção de conclusões em experimentos científicos foram realizados com frequência durante as atividades do Estudo 3.

Foi identificada ainda um grande obstáculo enfrentado pelos estudantes quando eles precisavam construir modelos científicos. Além de terem dificuldades para estabelecer simplificações para construir modelos científicos, quando refletem sobre possíveis simplificações que poderiam utilizar, os estudantes 1, 2, 4 e 5 não aceitam considerá-las, afirmando que os eventos reais são diferentes dos descritos com essas simplificações. Pode-se identificar nesses casos relações entre os procedimentos dos estudantes em situação de modelagem e suas concepções sobre a natureza da Ciência, indo ao encontro dos resultados de Buffler, Lubben e Ibrahim (2009) e de Guillon e Séré (2002). Por isso, para que os estudantes ampliem seus domínios do campo conceitual da modelagem didático-científica, a promoção de situações que exijam que os estudantes simplifiquem eventos físicos para representá-los esquematicamente precisam ser acompanhadas de situações que possibilitem que eles evoluam em suas concepções de Ciência, passando a compreender o caráter representacional dos modelos científicos. No entanto, não é esperado que essa evolução possa ser plenamente atingida em apenas uma disciplina com algumas poucas horas. Esse é um processo que demanda o enfrentamento de situações em diferentes momentos e contextos, levando a avanços e retrocessos no domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica.

Em função das grandes dificuldades demonstradas pelos estudantes para enfrentar situações de modelagem mesmo ao final da disciplina, podemos dizer que a proposição teórica testada não foi

corroborada pelos dados coletados, pois foram muito restritos os conhecimentos desenvolvidos pelos estudantes relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica. Por outro lado, podemos dizer também que as atividades realizadas efetivamente defrontaram os estudantes com situações de modelagem. Como foi mencionado na exposição das proposições teóricas deste estudo, julgávamos que essas características das atividades justificavam nossa expectativa de que os alunos construiriam esquemas de ação adequados para enfrentar situações de modelagem, o que, de fato, não ocorreu. Esses resultados nos levaram a introduzir modificações nas atividades desenvolvidas no Estudo 3, envolvendo novas estratégias que possibilitem o progresso dos estudantes no campo conceitual da modelagem didático-científica.

6.6 Considerações gerais sobre o Estudo 2

As atividades de modelagem realizadas no Estudo 2 tiveram o mérito de proporcionar debates entre os alunos sobre conceitos importantes dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica. No entanto, os resultados mostraram que os avanços dos estudantes, tanto em relação às suas concepções sobre esses conceitos como em relação às suas competências para enfrentarem situações de modelagem, foram bastante limitados. Cabe ressaltar, no entanto, que o estudo foi realizado com uma turma pequena que continha alguns alunos peculiares. O Estudante 2 não esteve ativamente envolvido nas atividades em função da sua atitude bastante negativa em relação às aulas de laboratório e de ele estar se dedicando com mais afinco ao desenvolvimento do seu trabalho de mestrado em Química do que ao seu curso de graduação em Física. A Estudante 3 apresentava um histórico de muitas reprovações nas disciplinas anteriormente cursadas, sendo muitas delas por falta de frequência, inclusive na mesma disciplina na qual o estudo foi realizado. Já o Estudante 4 não se alinhou com a proposta de desenvolvimento de atividades abertas realizada na disciplina, e, além disso, também apresentava um histórico de reprovações. Desse modo, é prudente que os resultados obtidos no Estudo 2 sejam avaliados de forma crítica, considerando que o caso estudado acabou por não ser muito representativo do universo dos alunos que costumam se matricular na disciplina “Física Experimental II”.

É importante apresentar aqui também uma reflexão sobre as vantagens do desenvolvimento de discussões finais nas atividades de modelagem. Dois aspectos se destacam nas discussões conduzidas neste estudo. São eles:

- i) A capacidade dos estudantes de se expressarem de forma verbal é uma competência que precisa ser desenvolvida pelos alunos, e as discussões finais contribuíram para que os estudantes progredissem nessa competência. A Estudante 3, por exemplo, teve grandes dificuldades para se expressar na primeira discussão final. Ela não conseguiu explicitar aos colegas o que desejava em função da vergonha que sentia, terminando sua fala afirmando que “deu um branco”. Em entrevista, ela destacou que não se sentia confortável se expressando ao grande grupo. No entanto, na última atividade de modelagem, ela foi a estudante que mais participou do debate, evidenciando ter evoluído em suas habilidades para se expressar.

ii) As discussões finais suscitaram debates que provavelmente não teriam ocorrido espontaneamente entre os alunos em uma aula tradicional. Abaixo, são apresentados quatro deles:

a) “Ligar” ou não os pontos em um gráfico: Na primeira atividade de modelagem, um grupo de estudantes representou seus dados coletados experimentalmente por meio de um gráfico em que os estudante “ligaram” os pontos experimentais por linhas contínuas. Tal ocasião suscitou um debate com a professora sobre a interpretação de dados representados em gráficos, destacando-se que não é desejável que os pontos experimentais sejam conectados.

b) Energia ou posição: Na atividade de modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”, um grupo de estudantes apresentou sua atividade cometendo um equívoco quando mostrava um gráfico da posição em função do tempo em um movimento harmônico amortecido. Eles explicitaram que tal gráfico representava a energia do sistema. Frente a isso, foi conduzido pela professora um debate sobre as representações gráficas de energia e posição de um corpo que realiza um movimento harmônico amortecido. A situação enfrentada pelos estudantes foi útil para dar sentido aos conceitos que foram esclarecidos pela professora.

c) Relação entre densidades de corpos: Na atividade de modelagem “Arquimedes e a Coroa do Rei”, um grupo de estudantes utilizou a relação $\rho_t = \alpha \cdot \rho_{Al} + \beta \cdot \rho_{Pb}$, onde ρ_t é a densidade total de um corpo formado apenas por Alumínio e Chumbo, ρ_{Al} é a densidade do Alumínio, ρ_{Pb} é a densidade do Chumbo, e α e β são as proporções dos dois componentes na amostra. Um questionamento da professora suscitou uma discussão sobre a validade da equação: ela é válida quando as proporções α e β envolvem razões sobre a massa ou sobre o volume da amostra? Por meio da discussão final, os alunos concluíram que ela é válida quando as razões α e β se referem a proporções dos volumes dos componentes.

d) Relação da evaporação com a temperatura: Na atividade de modelagem “Resfriamento de Sistemas”, um grupo de alunos apresentou a equação de Smith-Lof-Jones para debater a evaporação da água medida experimentalmente. Nessa equação, a taxa de evaporação não depende diretamente da temperatura. Os alunos foram questionados então se a evaporação não dependia da temperatura do líquido, o que foi veementemente negado. Foi suscitado então um debate sobre como a temperatura influenciaria na evaporação. A conclusão foi de que a evaporação predita pela equação de Smith-Lof-Jones depende da pressão de vapor saturado do ar, o que, por sua vez, varia com a temperatura.

Passando a avaliar as proposições teóricas testadas no Estudo 2, podemos dizer que são necessárias mais evidências em outros contextos para que possamos construir uma conclusão mais sólida sobre o pressuposto que tínhamos no início da investigação de que as atividades de modelagem promoveriam atitudes mais positivas dos estudantes em relação às atividades de

laboratório. Pode-se constatar que a liberdade da qual os estudantes dispunham nas atividades para tomarem decisões sobre as características das suas investigações foi considerada excessiva por dois dos participantes, pois eles se sentiram desorientados especialmente no princípio das atividades. Constatou-se também que três estudantes construíram atitudes positivas em relação às atividades de modelagem, ressaltando que essas atividades enfatizam as relações dos experimentos de laboratório com os eventos físicos que eles buscam reproduzir, dando sentido aos conteúdos científicos. Destaca-se que os três estudantes que construíram atitudes positivas frente às atividades conduzidas eram do sexo feminino, o que vai ao encontro dos resultados de Brewe et al. (2009). Esses autores observaram que atividades com enfoque no processo de modelagem científica promovem a integração de estudantes pertencentes a algumas minorias como hispânicos, mulheres e negros.

As dificuldades enfrentadas pelos estudantes decorrentes da liberdade que lhes foi concedida durante as atividades demonstram que a transição de atividades experimentais fechadas, baseadas em roteiros fortemente dirigidos, para atividades abertas, baseadas em autênticos problemas, não pode ser realizada de forma abrupta. Tal conclusão é compreensível pois, assim como o que ocorre em qualquer campo conceitual, o progresso dos estudantes sobre o domínio do campo conceitual da modelagem é lento e penoso, envolvendo avanços e retrocessos que ocorrem na medida em que os estudantes enfrentam novas situações. Desse modo, para que os alunos não se sintam desorientados nas atividades, as situações de modelagem propostas a eles precisam ter um aumento gradual de complexidade condizente com os seus avanços no domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica. Nesse sentido, o uso de guias de atividades, que não foi explorado no Estudo 2, pode ser uma boa alternativa. Evidentemente, é necessário se ter atenção para que esses guias não se tornem roteiros fortemente dirigidos como os usados nas atividades experimentais tradicionais que tanto são criticadas na literatura. Os guias que foram implementados no Estudo 3 procuraram fornecer aos estudantes um caminho geral a ser seguido, destacando principalmente os objetivos da atividades e os cuidados que precisam ser tomados.

Avaliando-se as proposições teóricas construídas para a segunda questão de pesquisa do estudo, podemos dizer que as atividades efetivamente defrontaram os estudantes com situações do campo conceitual da modelagem didático-científica, oportunizando momentos que demandavam que eles desenvolvessem conhecimentos relacionados com o processo de modelagem científica para resolverem os problemas propostos. No entanto, o avanço dos estudantes relacionado com seus domínios do campo conceitual da modelagem didático-científica foram aquém do esperado.

O compartilhamento na forma verbal dos objetivos de aprendizagem das atividades e os debates explícitos sobre metamodelagem promovidos não foram suficientes para possibilitar que os estudantes construíssem significados adequados para três dos principais conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica, especificamente os conceitos de modelo, teoria e modelagem científica, e também possibilitaram que eles evoluíssem apenas de forma muito acanhada em suas capacidades para enfrentarem autênticos problemas, em que precisassem tomar decisões sobre os modelos científicos a serem utilizados para resolvê-los. Nossos resultados corroboram os estudos de Guillon e Séré (2002) que, propondo problemas experimentais abertos

para estudantes de graduação em Física, observaram que eles, além de apresentarem grandes dificuldades para enfrentá-los, não conseguem narrar o que fazem nas investigações relacionando-as com os debates sobre modelagem realizados pelos pesquisadores.

Por outro lado, pudemos identificar alguns avanços dos estudantes na medida em que eles passaram a compreender a importância das ferramentas de representação no processo de modelagem científica e a conceber, em algumas situações, o caráter representacional dos modelos científicos, atribuindo ao menos algum sentido ao conceito de modelagem científica. Procurando tornar ainda mais explícitos os objetivos de aprendizagem das atividades conduzidas no Estudo 3, passamos a compartilhar com os estudantes os protocolos de avaliação utilizados na avaliação dos seus relatórios. Conhecidos internacionalmente pelo termo “*rubrics*”, os protocolos de avaliação demonstram ser instrumentos eficazes para promover progressos por parte dos estudantes no que tange principalmente aos seus conhecimentos metacognitivos (para uma revisão da literatura, veja PANADERO & JONSSON, 2013).

Em relação ao domínio dos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica, um fator que se destacou foi a dificuldade apresentada por eles para relacionarem os modelos teóricos utilizados em suas investigações com o trabalho experimental. Além disso, as evidências sugerem que os estudantes não costumam relacionar o conceito de modelagem com o processo de validação dos modelos teóricos. Tratando-se de uma disciplina experimental em que a promoção da contrastação empírica de modelos teóricos é um dos seus principais enfoques, é fundamental que os estudantes relacionem o processo de modelagem com o trabalho experimental. Em função disso, fez-se necessário um aprofundamento teórico da concepção do campo conceitual da modelagem didático-científica de Brandão, Araujo e Veit (2011) com vistas a esclarecer como os processos relacionados com o trabalho experimental se vinculam dentro desse campo conceitual. Esse aprofundamento teórico, que serviu de referencial teórico para o desenvolvimento do Estudo 3 desta tese, será apresentado no próximo capítulo.

7. Estudo Teórico: O campo conceitual da modelagem didático-científica sob a perspectiva do trabalho experimental

Nos estudos conduzidos nesta tese, buscamos enfrentar um problema muito frequente: a dissociação entre teoria e prática no ensino de Física. Para isso, nos amparamos na hipótese de que o enfoque na modelagem científica pode tornar mais claro aos alunos o processo de apreensão da realidade (e.g., PIETROCOLA, 1999; BOULTER & GILBERT, 2000; HESTENES, 2006; KOPONEN, 2007; BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2012; ADÚRIZ-BRAVO, 2013). O Estudo 1 produziu evidências de que tal enfoque em uma disciplina experimental tem potencial para elucidar o caráter representacional dos modelos científicos aos estudantes. Procurando aprofundar nossa investigação, passamos a adotar no Estudo 2 a concepção defendida por Brandão, Araujo e Veit de que o processo de modelagem científica constitui um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física. Ao mesmo tempo que os resultados desse estudo forneceram apoio empírico para tal concepção, corroborando trabalhos presentes na literatura (e.g., BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2014), ele evidenciou que os estudantes enfrentam dificuldades para vincular o fazer experimental com o processo de modelagem científica. Esses resultados tornaram saliente a necessidade de se compreender com profundidade como os conceitos especificamente relacionados com o fazer experimental se situam dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica.

Brandão, Araujo e Veit (2012) focaram seus estudos nos aspectos mais centrais do processo da modelagem científica. Os aspectos mais específicos associados ao trabalho experimental não foram, ainda, tratados com suficiente profundidade no referencial teórico-metodológico que desenvolveram. Frente a isso, este estudo tem por objetivo complementar o referencial teórico-metodológico proposto por Brandão, Araujo e Veit, esclarecendo como os conceitos, os esquemas de ação e as situações vinculados ao processo de contrastação empírica das ideias científicas se estabelecem dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica. Com isso, procuramos, além de preencher a lacuna de conhecimento suscitada pelos resultados do Estudo 2, contribuir para a área de Ensino de Física com um referencial teórico que associe o trabalho experimental e a modelagem científica de forma explícita, consistente e profunda.

Desde já, destacamos que, em nossa concepção, o campo conceitual da modelagem didático-científica inclui o fazer experimental, ou seja, os conhecimentos, tanto os declarativos como os operatórios, associados ao processo de modelagem científica e ao desenvolvimento de operações empíricas não constituem dois campos conceituais distintos, mas sim um único campo conceitual onde esses conhecimentos estão interrelacionados. Passaremos agora a argumentar em favor dessa tese.

A validação dos modelos científicos é um aspecto central do processo de modelagem científica. Não basta ao cientista construir modelos teóricos com base em teorias gerais e objetos-modelo se esses modelos não passarem por um processo de validação que demonstre os seus graus de precisão e seus domínios de validade. Nesse processo, ainda que o uso do computador possa contribuir emulando o comportamento dos modelos científicos, o caminho natural é o da contrastação empírica, que pode ser entendida como um dos procedimentos envolvidos na modelagem científica.

A questão que se coloca, então, é: como os conceitos específicos do processo de contrastação empírica se vinculam aos conceitos centrais da modelagem científica?

A compreensão de Bunge sobre o processo de modelagem científica se mostrou um amparo epistemológico sólido para a construção da Modelagem Didático-Científica Reflexiva. Procurando estabelecer uma continuidade dos estudos de Brandão, Araujo e Veit, optamos por também nos apoiarmos nas ideias de Bunge. Para isso, antes de realizarmos este Estudo Teórico, efetuamos uma análise dos livros de Bunge (1989; 1998; 2010) buscando aprofundar nosso entendimento sobre como esse autor concebe o trabalho experimental. Como resultado dessa análise, redigimos a Seção 3.2.2. Nela, destacamos que Bunge entende que o estágio teórico antecede o empírico no processo de contrastação das ideias científicas. Isso porque o delineamento das operações empíricas é fortemente influenciado pelos pressupostos teóricos em confrontação. Além disso, a construção de previsões e de evidências envolvem o uso de teorias auxiliares que nem mesmo são postas à prova nas investigações. Fica evidente, portanto, que o trabalho experimental é sempre delineado, conduzido e avaliado dentro de um corpo teórico composto por teorias, modelos, hipóteses, etc.

Baseados nos debates de Bunge sobre o processo de contrastação das ideias científicas, ampliamos a Estrutura Conceitual de Referência (ECR) do campo conceitual da modelagem didático-científica (apresentada na Figura 3.4) incluindo os principais conceitos e relações específicos do trabalho empírico. Essa expansão é proposta na Figura 7.1. Com o objetivo de torná-la mais sintética, a ECR original proposta por Brandão, Araujo e Veit é subsumida no quadro “Modelagem Didático-científica”. Os conceitos que tangenciam tal quadro devem ser entendidos como conceitos interligados por meio da ECR original.

Na ECR exposta na Figura 7.1, é destacado que o *delineamento investigativo* de uma prática experimental realizada para se responder uma *questão de pesquisa* é dirigido por um **modelo teórico de referência**. Esse modelo subsidia o pesquisador com conhecimentos que o auxiliam para, entre outras coisas, definir as grandezas de interesse do estudo, identificar os fatores que influenciam essas grandezas, assim como para delinear os procedimentos que serão realizados na análise dos dados empíricos coletados na investigação. Portanto, em acordo com as ideias de Bunge, partimos, na construção da ECR, do pressuposto de que as investigações empíricas são delineadas apoiadas em corpos teóricos pré-estabelecidos.

O delineamento de uma investigação experimental envolve o planejamento de uma ou mais *operações empíricas*. Essas operações são, segundo Bunge, de três tipos: *observações*, *medições* e *experimentos*. Na ECR, é ressaltado que as operações empíricas são amparadas em um modelo teórico de referência auxiliar. Por exemplo, para se medir uma grandeza inobservável, podemos usar um modelo teórico que relaciona essa grandeza com uma propriedade observável. Um exemplo disso é demonstrado no caso da clepsidra, abordado na Seção 3.2.2, em que o tempo, que é uma propriedade inobservável, é vinculado por um modelo teórico com a quantidade de água que escorre por um orifício, que é uma grandeza observável. É interessante ressaltar que os modelos teóricos auxiliares utilizados em uma operação empírica não são, *a priori*, postos à prova nas investigações experimentais. Além disso, devemos destacar que o modelo teórico que dirige o delineamento

investigativo pode ser completamente distinto dos modelos que amparam as operações empíricas abrangidas em uma investigação. Por exemplo, o modelo teórico que norteou os estudos de Galileu quando ele estudou o movimento de corpos em planos inclinados era completamente distinto do modelo que amparava o funcionamento das clepsidras usadas por ele (SETTLE, 1961).

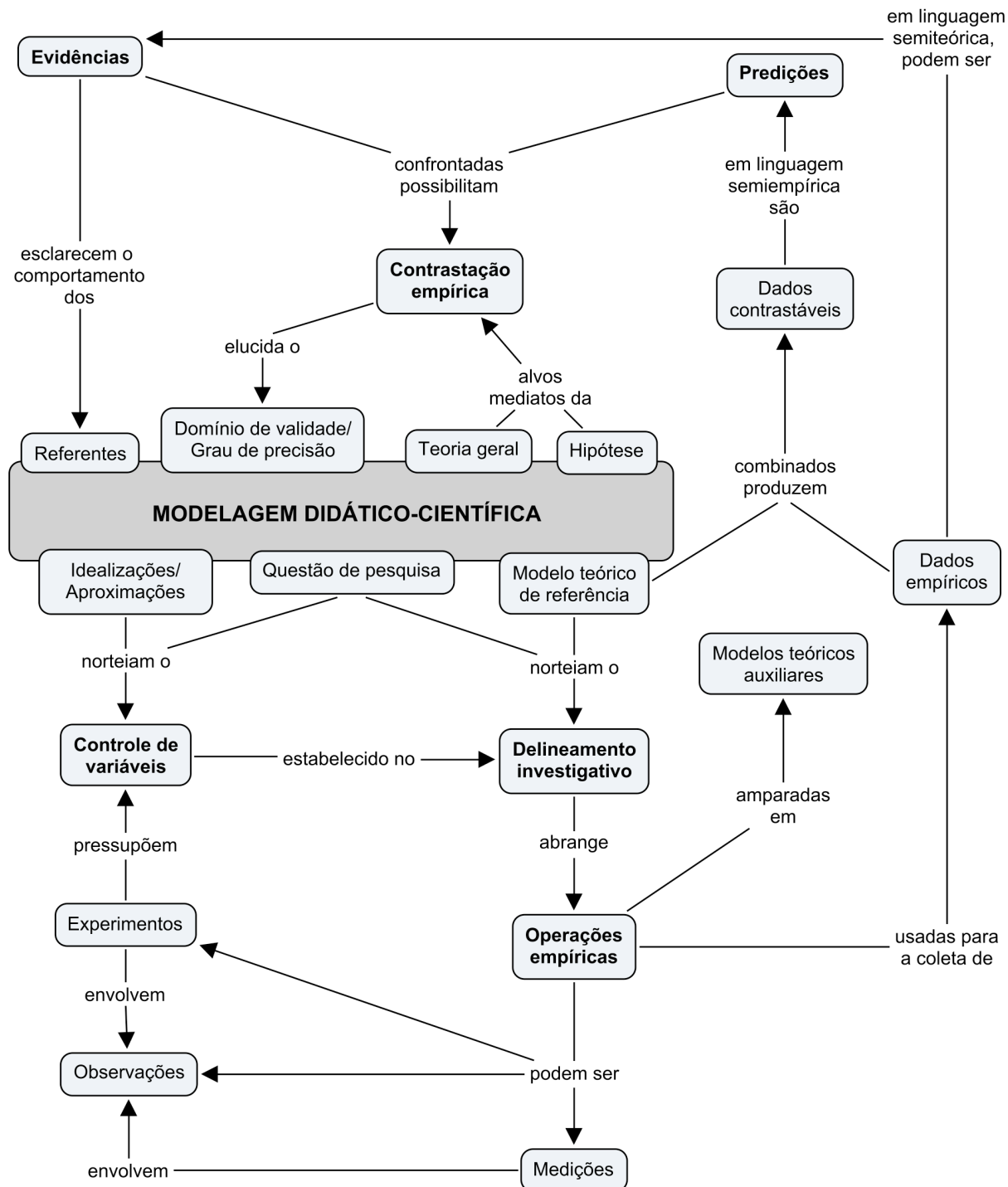


Figura 7.1 – Mapa conceitual que sintetiza a Estrutura Conceitual de Referência (ECR) do processo de contrastação empírica das ideias científicas vinculado ao processo de modelagem científica. Os conceitos que tangenciam o quadro “modelagem didático-científica” devem ser entendidos como conceitos interligados por meio da ECR original (Brandão, Araujo & Veit, 2011).

Ainda sobre as operações empíricas, é ressaltado na ECR que os *experimentos* pressupõem o *controle de variáveis*. Tal procedimento é realizado por dois motivos: i) para se controlar nos experimentos os fatores que são desprezados nos modelos teóricos de referência das investigações empíricas, justificando a conexão entre *idealizações/aproximações* e *controle de variáveis* sugerida na Figura 7.1, ii) para garantir que os efeitos de uma causa produzidos em um experimento sejam decorrentes apenas dessa causa, e não de mudanças em variáveis não controladas no evento explorado. Dependendo, por exemplo, da relação entre grandezas que se deseja testar no experimento, diferentes variáveis precisarão ser controladas e/ou alteradas, justificando assim a conexão entre *questão de pesquisa* e *controle de variáveis* proposta na ECR.

No mapa da Figura 7.1, procuramos destacar também que, como foi debatido na Seção 3.2.2, os *dados empíricos* coletados em uma investigação não são diretamente contrastáveis. Eles precisam primeiramente ser traduzidos em linguagem semiteórica para produzir *evidências*, que muitas vezes não são proposições diretas sobre o comportamento dos referentes do modelo teórico que dirige a investigação. Evidências relacionadas ao comportamento de átomos, por exemplo, normalmente envolvem proposições empíricas relacionadas ao comportamento molar de substâncias. Além disso, ressaltamos na ECR que as *predições* geradas em uma investigação não são derivadas exclusivamente do seu modelo teórico de referência. Antes disso, é necessário se produzir *dados contrastáveis* por meio de uma combinação entre esse modelo e dados empíricos previamente conhecidos sobre o sistema investigado. Por exemplo, para se prever o período de um pêndulo utilizando o modelo newtoniano de pêndulo simples, é necessário se conhecer previamente a intensidade do campo gravitacional local e o comprimento do fio de sustentação do pêndulo, dados esses empíricos, não postos à prova na investigação. Os *dados contrastáveis* produzidos precisam ainda ser traduzidos em linguagem semiempírica para produzirem *predições* que podem ser confrontadas com as *evidências*, possibilitando a *contratação empírica*. Essa confrontação pode elucidar o *domínio de validade* e o *grau de precisão* do modelo teórico de referência da investigação, alvo imediato da *contratação empírica*. As *teorias gerais* e as *hipóteses* são apenas mediatamente testadas em uma pesquisa empírica, pois, por natureza, elas não se pronunciam sobre eventos específicos.

Assim como existem conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica que são específicos do trabalho empírico, existem esquemas de ação que são próprios do fazer experimental. Podemos entender alguns desses esquemas como invariantes operatórios relacionados com o trabalho experimental contidos no campo conceitual da modelagem didático-científica. Esses invariantes são relacionados com conceitos da ECR apresentada na Figura 7.1, e esses conceitos são associados com os conceitos da ECR original. No Quadro 7.1, são apresentados nas duas colunas à esquerda os conceitos e invariantes operatórios de referência mais gerais do campo conceitual da modelagem didático-científica, que foram concebidos por Brandão, Araujo e Veit (2012). Nas duas colunas à direita são apresentados conceitos e invariantes operatórios desse mesmo campo conceitual vinculados ao trabalho experimental, delineados neste estudo.

Quadro 7.1 – Exemplos de conceitos e de invariantes operatórios do campo conceitual da modelagem didático científica. Nas colunas à esquerda são apresentados conceitos e invariantes operatórios gerais, nas colunas à direita, conceitos e invariantes operatórios de referência, específicos do trabalho experimental. *(continua)*

Conceitos Gerais		Conceitos vinculados ao trabalho experimental	
Conceito	Invariante Operatório de Referência	Conceito	Invariante Operatório de Referência
Modelo e Modelagem	Formular questões sobre uma situação física a serem respondidas pela construção e/ou exploração de um modelo científico.	Delineamento Experimental	Formular questões sobre uma situação física a serem respondidas por meio do uso de modelo(s) científico(s) em uma investigação empírica.
	Decidir que tipo de representação construir para responder à(s) questão(ões) formulada(s).		Escolher o modelo científico que amparará o delineamento e a interpretação da investigação empírica, ou seja, escolher um modelo teórico de referência.
	Representar a situação física de modo esquemático e à luz de algum campo conceitual específico da Física.		Delinear um arranjo experimental baseado no modelo teórico de referência para utilizar na investigação empírica.
	Analisar a razoabilidade dos resultados obtidos com a versão do modelo científico construído e/ou explorado por meio da busca de suportes empíricos e/ou racionais.		
Referente	Delimitar objetos e eventos reais, ou supostos como tais, que compõem o sistema físico e sua vizinhança e que serão alvo de representação.	Evidência	Estabelecer relações entre dados empíricos e o comportamento dos referentes do modelo teórico de referência da investigação.
Idealização	Dado um sistema físico, decidir quais dos seus traços-chave apreender.	Controle de Variáveis	Estabelecer procedimentos de controle de variáveis que minimizem a influência dos fatores desprezados no modelo teórico de referência da investigação.
Aproximação	Dado um sistema físico previamente idealizado, decidir quais simplificações matemáticas serão assumidas, tais como: desprezar efeitos que são pequenos, considerar relações lineares, desprezar ruídos, etc.		
Variáveis/ Parâmetros	Identificar quais variáveis/parâmetros são necessárias para representar o sistema físico e quais delas podem assumir valores numéricos contínuos e quais discretos.	Operação Empírica	Definidas as grandezas que necessitam ser conhecidas em uma investigação, delinear operações empíricas para a coleta de dados empíricos pertinentes para a pesquisa.
		Evidência	Coletado um conjunto de dados empíricos brutos, realizar a(s) transformação(ões) necessária(s) para torná-los contrastáveis com predições.

Quadro 7.1 – Exemplos de conceitos e de invariantes operatórios do campo conceitual da modelagem didático científica. Nas colunas à esquerda são apresentados conceitos e invariantes operatórios gerais, nas colunas à direita, conceitos e invariantes operatórios de referência, específicos do trabalho experimental. *(continuação)*

Conceitos Gerais		Conceitos vinculados ao trabalho experimental	
Conceito	Invariante Operatório de Referência	Conceito	Invariante Operatório de Referência
Variáveis/ Parâmetros	Identificar quais variáveis/parâmetros são necessárias para representar o sistema físico e quais delas podem assumir valores numéricos contínuos e quais discretos.	Predição	Baseado em hipóteses e/ou no modelo teórico de referência da investigação, e em dados conhecidos sobre o evento físico investigado, prever o comportamento das grandezas pertinentes para a investigação realizada.
Domínio de Validade	Identificar situações em que os resultados teóricos fornecidos pelo modelo não coincide com o comportamento do sistema físico dentro de uma margem de erro tolerável.	Contratação Empírica	Confrontar as previsões com as evidências da investigação avaliando se as evidências construídas fornecem um apoio empírico à teoria geral contrastada ou se a discordância entre previsões e evidências supera a tolerância aceitável para a investigação.
Grau de Precisão	Dada uma idealização/aproximação, avaliar qualitativa e/ou quantitativamente a incerteza introduzida por ela nas previsões do modelo em comparação com resultados experimentais ou teóricos.		Avaliar o domínio de validade e o grau de precisão do modelo teórico de referência da investigação por meio da confrontação das previsões confeccionadas com base no mesmo com as evidências construídas na pesquisa.
Expansão	Incluir novos referentes, variáveis, parâmetros, relações e conceitos físicos a fim de obter resultados mais precisos e/ou melhor interpretáveis com o modelo.		Realizada a confrontação entre as previsões e as evidências, avaliar a necessidade de se expandir o modelo teórico de referência da investigação.
Generalização	Dado um modelo conceitual e/ou matemático, verificar se ele pode ser útil para representar outros sistemas físicos distintos daquele para o qual foi concebido.		Realizada a confrontação entre as previsões e as evidências, verificar se o modelo teórico de referência da investigação pode ser útil para representar outros sistemas físicos distintos daquele com o qual ele foi contrastado.

Assim como Brandão, Araujo e Veit (idem) definem modelos didático-científicos como versões didáticas de modelos científicos, precisamos ressaltar aqui que a contratação de ideias científicas da qual procuramos tratar no campo conceitual da modelagem didático-científica é voltada para as situações enfrentadas pelos estudantes em atividades didáticas de laboratório. Desse ponto de vista, o sentido dos conceitos tratados na ECR da Figura 7.1 é gradativamente construído pelos alunos à medida que se defrontam com situações-problemas cujas soluções necessitem de esquemas de ação

que envolvam esses conceitos. Ao professor cabe planejar situações-problema adequadas para promover esse processo. Atividades que enfoquem explicitamente a contrastação empírica de modelos teóricos com o objetivo de avaliá-los em termos de seus domínios de validade e seus graus de precisão são exemplos de atividades que têm potencial para promover sentido aos conceitos destacados na ECR da Figura 7.1.

Para o desenvolvimento do Estudo 3, aprofundamos a concepção do campo conceitual da modelagem didático-científica, apresentada por Brandão, Araujo e Veit e adotada no Estudo 2. Com isso, procuramos avaliar as atividades do ponto de vista dos seus potenciais para dar sentido aos conceitos vinculados ao trabalho experimental e para promover a construção de esquemas de ação por parte dos alunos para enfrentar situações em que eles precisam contrastar ideias científicas empiricamente. Em outras palavras, avaliaremos no Estudo 3 o potencial das atividades realizadas para favorecer a ampliação do domínio dos estudantes sobre os conceitos e os esquemas de ação expostos nas duas colunas da direita do Quadro 7.1. O delineamento, a condução e os resultados do Estudo 3 serão apresentados no próximo capítulo.

8. Estudo 3

Os resultados do Estudo 2 apontaram para a necessidade de se readequar o grau de abertura das atividades conduzidas, pois vários estudantes sentiram-se desorientados para realizar suas investigações. Além disso, tanto o Estudo 2 como o Estudo Teórico mostraram a necessidade de defrontar os estudantes com situações que deem sentido a conceitos específicos do fazer experimental para que eles compreendam o papel dos experimentos no processo de validação dos modelos científicos e desses, por sua vez, no delineamento de experimentos. Essas duas necessidades orientaram a realização do Estudo 3, apresentado neste capítulo.

8.1 Características do Estudo

As questões de pesquisa que dirigiram a investigação realizada no Estudo 3 foram as mesmas do Estudo 2, quais sejam:

Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam:

- *as crenças e atitudes dos estudantes em relação às atividades experimentais?*
- *o domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica por parte dos estudantes?*

Nossa intenção é tentar respondê-las com maior profundidade, levando em conta alterações sugeridas pelos resultados dos estudos anteriores. Duas dessas alterações se referem ao formato das atividades conduzidas. Em decorrência dos resultados do segundo estudo empírico, foi implementado o uso de dois recursos didáticos: i) guias de atividades, e ii) um protocolo para a avaliação dos relatórios experimentais. Tais recursos, detalhados na próxima seção, foram explorados com o intuito de tornar as atividades experimentais menos abertas, evitando que os estudantes sintam-se perdidos em suas tarefas e, em consequência, desenvolvam atitudes desfavoráveis às atividades realizadas.

Outro fator que diferencia os estudos 2 e 3 refere-se à compreensão do campo conceitual da modelagem didático-científica adotada nas investigações. O Estudo Teórico nos levou a inserir conceitos especificamente relacionados com o fazer experimental dentro desse campo conceitual. Com isso, pudemos, no Estudo 3: i) delinear situações que dessem sentido aos conceitos relacionados com o trabalho experimental, e ii) conduzir uma análise de resultados mais profunda por meio da investigação das concepções dos estudantes sobre o processo de contrastação de resultados teóricos e empíricos.

Assim como nos dois primeiros estudos desta tese, seguimos as orientações de Yin (2005) no que tange ao delineamento metodológico e análise dos resultados. Nas próximas seções, apresentaremos os participantes do estudo (seção 8.2), a metodologia de ensino utilizada (seção 8.3), os procedimentos metodológicos da investigação (seção 8.4), e os resultados do estudo (seção 8.5).

8.2 Participantes do estudo

Constituíram os casos do Estudo 3 as duas turmas de “Física Experimental II-A” matutinas matriculadas no semestre 2014/1. Decidimos que participariam do estudo todos os alunos matriculados que tivessem, no mínimo, 50% de presença e que tivessem sido avaliados em pelo menos dois dos seis relatórios experimentais solicitados com conceito igual ou superior ao mínimo exigido para aprovação na disciplina, ou seja, conceito C. Esse critério eliminou sete dos 10 alunos matriculados em uma das turmas, que denominamos por Turma A, e três dos 10 matriculados na outra, que nomeamos de Turma B.

Foi enviado a sete dos nove estudantes que evadiram das turmas A e B um questionário *online* (disponível em: <http://migre.me/oUV3G>) em que, entre outras coisas, eles eram perguntados sobre o(s) motivo(s) de terem evadido e sobre as vantagens e limitações da metodologia de ensino empregada nas aulas que tinham cursado. Desses estudantes, apenas um deles afirmou que sua decisão de abandonar a disciplina estava relacionada com a dinâmica das aulas. Ele disse: *“Como eu optei por fazer mais créditos esse semestre, ainda esperava que a metodologia seria a mesma de ‘Física Experimental I’, onde não tinha tanto trabalho pra fazer extra aula. Como vi que não seria possível fazer todos os trabalhos e ainda passar nas outras 6 cadeiras, eu acabei largando”*. Três estudantes argumentaram que evadiram por terem trocado de curso; um justificou dizendo que precisava estudar para concursos públicos; um afirmou que o seu novo emprego exigia que ele trabalhasse pela manhã; e outro afirmou que o principal motivo para a sua evasão foi a sua *“falta de compromisso, principalmente com o horário da cadeira”*. Os outros dois estudantes que evadiram e que não responderam ao questionário *online* afirmaram presencialmente que abandonaram a disciplina por motivos de saúde. Um décimo estudante não foi considerado como participante da investigação por não ter sido avaliado com o conceito mínimo para aprovação na disciplina em pelo menos dois relatórios experimentais.

Optamos por considerar como unidade de análise cada um dos três grupos de estudantes formados nas duas turmas durante as atividades experimentais conduzidas. Com isso, pretendíamos proporcionar uma análise mais profunda sobre as interações intragrupos que ocorrem durante atividades de modelagem. Na Turma A, portanto, temos apenas uma unidade de análise constituída por três estudantes, um homem e duas mulheres, cuja média de idade é 24,6 anos. Uma breve descrição desse grupo de estudantes, que denominaremos de Grupo A1, é exposta no Quadro 8.1.

Assim como os estudantes da Turma A, os da Turma B tinham o hábito de se reunir em horários extraclasse para debaterem com seus colegas de grupo sobre as investigações realizadas nas atividades. Evidencia-se nisso que os três grupos de estudantes participantes do Estudo 3 eram participativos e bastante dedicados. Pode-se afirmar, também, que os estudantes investigados eram jovens e apresentavam histórico de algumas reprovações. Na próxima seção detalharemos a metodologia de ensino que foi adotada nas aulas ministradas para as turmas A e B.

Quadro 8.1 – Descrição sintética do grupo de estudantes da Turma A.

Estudante	Idade (anos)	Sexo	Curso	Breve descrição
Grupo A1	1	31	Masculino Bacharelado em Física com ênfase em Materiais e Nanotecnologia	Os três estudantes apresentavam perfis bastante distintos e peculiares. O Estudante 1 é ex-funcionário público. Provavelmente em função do seu emprego, foi reprovado em nove das 16 disciplinas em que se matriculou até 2014/1, semestre em que optou por abandonar seu emprego para dedicar-se integralmente ao curso de Física. Não realizou atividades experimentais no Ensino Médio, que foi cursado em escola pública. A Estudante 2 é licenciada em Física por um Instituto Federal. Decidida a aprofundar seus conhecimentos cursando bacharelado em Física, optou por não reaproveitar nenhuma das disciplina cursadas na sua primeira graduação. Foi aprovada com quatro conceitos B e um A nas cinco disciplinas cursadas até 2014/1 na UFRGS. A Estudante 3 é cubana e reside no Brasil desde 2013. Cursava seu primeiro semestre na UFRGS. Conseguiu reaproveitamento de 11 disciplinas cursadas no seu país natal. Seus relatórios se destacavam entre os de seus colegas, sendo muito claros e completos. Não realizou atividades experimentais na Educação Básica, cursada em Cuba. Independente de apresentarem perfis bastante diferentes, os três estudantes demonstraram um grande empenho nas atividades da disciplina, comparecendo em 100% das aulas, e desenvolvendo as tarefas com afinco e esmero. Eles se dedicavam exclusivamente ao curso de Física, e realizavam encontros extraclasse regularmente (aproximadamente uma vez por semana) para discutir as investigações que realizavam nas aulas da disciplina, o que não é usual em uma disciplina experimental no IF-UFRGS.
	2	21	Feminino Bacharelado em Física com ênfase em Astrofísica	
	3	22	Feminino Bacharelado em Física com ênfase em Materiais e Nanotecnologia	

Quadro 8.2 – Descrição sintética dos grupos de estudantes da Turma B.

Estudante	Idade (anos)	Sexo	Curso	Breve descrição
Grupo B1	4	19	Feminino Bacharelado em Física com ênfase em Pesquisa Básica	Os estudantes 4, 5, e 6 tinham perfis semelhantes. Jovens, se dedicavam integralmente ao curso de Física. Trabalhavam em ritmo compassado, realizando muitos debates até tomarem suas decisões. Em função disso, o grupo costumava se atrasar nas atividades, apesar de demonstrar dedicação. Os estudantes 4 e 5 tiveram 100% de presença na disciplina, enquanto que o Estudante 6 faltou duas das 18 aulas. O Estudante 5 não apresentava nenhuma reprovação até 2014/1, e fez atividades experimentais regularmente na escola técnica onde cursou o Ensino Médio. Já os estudantes 4 e 6 foram reprovados em aproximadamente 20% das disciplina cursadas, e não realizaram atividades experimentais no Ensino Médio, cursado em escola particular. Os três estudantes relataram ter realizado encontros eventuais fora de sala de aula para debater sobre as atividades realizadas.
	5	20	Masculino Bacharelado em Física com ênfase em Pesquisa Básica	
	6	20	Masculino Bacharelado em Física com ênfase em Pesquisa Básica	
Grupo B2	7	22	Masculino Bacharelado em Física com ênfase em Pesquisa Básica	Os estudantes 8, 9 e 10 apresentavam perfis bastante semelhantes. Os três eram jovens e se dedicavam integralmente ao curso de Física. Demonstravam grande empenho e entusiasmo nas atividades, tendo os três 100% de presença nas aulas da disciplina. O Estudante 9, que fez o Ensino Médio em escola pública, e o Estudante 10, que estudou em escola particular, relataram terem feito poucas atividades experimentais na Educação Básica e não terem gostado de tê-las realizado. Já o Estudante 8, que cursou o Ensino Médio em escola técnica, afirmou ter realizado atividades experimentais com frequência e ter gostado de realizá-las. Os três estudantes demonstravam deficiências em suas formações, e o histórico escolar deles revelava que apresentavam taxas de reprovação que variam entre 20% e 30% das disciplinas já cursadas. O Estudante 7 tem um perfil distinto dos outros membros do Grupo B1. Transferido do curso de Engenharia Mecânica da UFRGS, obteve reaproveitamento de todas as disciplinas de Física Básica do curso de Física, com exceção da disciplina "Física Experimental II – A". Seu histórico evidencia um aluno aplicado, obtendo conceitos máximos em disciplinas que costumam impor dificuldades aos estudantes como, por exemplo, Mecânica Clássica A e Matemática Aplicada II. Nas aulas, frequentemente procurava ensinar aos seus colegas seus conhecimentos sobre os conteúdos de Física, demonstrando ser cooperativo dentro do trabalho em grupo. Faltou duas das 18 aulas da disciplina. Ele e seus três colegas chegavam a se encontrar duas vezes por semana em horário extraclasse para debater sobre suas investigações.
	8	22	Masculino Licenciatura em Física	
	9	20	Masculino Bacharelado em Física com ênfase em Física Computacional	
	10	21	Masculino Licenciatura em Física	

8.3 Metodologia de ensino

Com o objetivo de nomear a metodologia de ensino utilizada, optamos por, no Estudo 3, denominar as atividades realizadas pela expressão “Episódio de Modelagem”. As 18 aulas da disciplina ministrada foram divididas de forma bastante semelhante à divisão do Estudo 2: i) quatro episódios de modelagem; ii) duas atividades experimentais; e iii) quatro demonstrações experimentais. O cronograma da disciplina está sintetizado no Quadro 8.3.

Quadro 8.3 - Cronograma desenvolvido na disciplina conduzida no Estudo 3.

Aulas	Atividade
1	Apresentação da disciplina e questionário inicial
2, 3 e 4	Episódio de Modelagem “Pêndulos”
5	
6	Episódio de Modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”
7	Demonstração com túnel de vento
8	Episódio de Modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”
9	
10	Atividade experimental tradicional “Balança de Cavendish”
11	Episódio de Modelagem “Arquimedes e a Coroa do Rei”
12	Atividade experimental tradicional “Medida do calor latente de evaporação do nitrogênio líquido”
13, 14, 15 e 16	Episódio de Modelagem “Resfriamento de Sistemas”
17	Questionário final
18	Demonstração sobre dilatação térmica, ondas estacionárias e sobre máquinas térmicas

Novamente, a primeira aula foi reservada para que os alunos respondessem um questionário inicial da pesquisa e para a realização da apresentação da proposta de ensino das aulas; a penúltima aula, para que respondessem o questionário final da pesquisa. As mudanças mais significativas realizadas foram a antecipação da demonstração com túneis de vento, desta vez realizada em meio ao Episódio de Modelagem “Pêndulos”, e a antecipação da atividade experimental em que os estudantes medem o calor latente de evaporação do nitrogênio líquido, realizada antes do Episódio de Modelagem “Resfriamento de Sistemas”.

Como já mencionamos, optamos por utilizar guias de atividades nos episódios de modelagem. Esses guias, apresentados no Apêndice K, foram implementados com três objetivos principais: i)

problematizar a situação a ser enfrentada pelos estudantes exigindo que eles tomassem decisões sobre a investigação a ser realizada, relacionando-a com acontecimentos cotidianos (nos estudos anteriores isso era feito oralmente pelo professor); ii) apresentar de forma sucinta conhecimentos científicos básicos que poderiam ser úteis para o desenvolvimento do estágio teórico das investigações; e iii) propor opções de investigações experimentais aos estudantes para resolver o problema enfrentado, evitando que eles se sentissem desnorteados nas atividades. Cabe ressaltar que os guias foram construídos com o cuidado de não tornar as atividades mecânicas, como costumam ser as atividades baseadas nos clássicos roteiros do tipo “receitas de bolo” tão criticados na literatura (e.g., HODSON, 1994; HOFSTEIN & LUNETTA, 2004; TRUMPER, 2003).

Procurando propor uma estrutura básica de investigação para guiar o trabalho dos estudantes, foi distribuído um conjunto de questões norteadoras para as pesquisas experimentais. Exemplificando, duas indagações presentes nesse grupo de questões, exposto no Apêndice L, são “Qual o modelo teórico de referência do seu experimento?” e “Que simplificações da realidade são assumidas nesse modelo?”. Era solicitado que essas perguntas fossem respondidas no caderno de laboratório, e os estudantes só eram autorizados a prosseguir para o estágio empírico de suas investigações após suas respostas serem avaliadas e aprovadas pela docente da disciplina.

Nos dois primeiros episódios de modelagem, os guias de atividade não se mostraram suficientes para tornar o trabalho dos estudantes mais ágil, ainda que os tenham auxiliado a nortear suas atividades de investigação. Observando o trabalho dos alunos, pôde-se concluir que eles dispendiam muito tempo lembrando conhecimentos de Física por meio da leitura de materiais didáticos e debates com os colegas, o que fazia com que o tempo disponível para conduzirem o estágio empírico das suas investigações fosse escasso. Além disso, a obrigatoriedade de que respondessem as questões no caderno de laboratório tornava o trabalho dos alunos demasiadamente burocrático e mecânico. Como será debatido na seção 8.5, isso era decorrente da grande ansiedade que os estudantes tinham para efetivamente iniciarem a fase prática das investigações, tornando-os até mesmo inquietos nas atividades. Em função disso, decidiu-se, nos dois últimos episódios de modelagem, diminuir a exigência na avaliação dos cadernos de laboratórios dos estudantes, e usar um método de ensino conhecido como “Ensino sob Medida” (ARAUJO & MAZUR, 2013). Tal estratégia foi implementada da seguinte forma. Na semana anterior à atividade, era solicitado que os estudantes fizessem a leitura de algumas seções de um livro didático indicado pela professora e entregassem por meio de uma plataforma eletrônica, até o dia anterior à atividade, suas repostas a um conjunto de três ou quatro questões. Essas respostas eram analisadas pela professora que fazia, no início das aulas, uma pequena apresentação sobre as dificuldades dos alunos para resolvê-las e discutia com eles respostas adequadas às questões. Os guias dessas tarefas de leitura são apresentados no Apêndice M. Esperava-se que cada tarefa se constituísse em uma introdução para o Episódio de Modelagem a ser desenvolvido nas aulas seguintes, levando os estudantes a mobilizarem conhecimentos que poderiam ser importantes para suas investigações. Mais detalhes sobre a implementação dessas tarefas de leitura e sobre os resultados obtidos com elas são apresentados na seção 8.5.

Seguindo a dinâmica já adotada no Estudo 2, as atividades foram desenvolvidas em três fases: 1^a) discussão inicial; 2^a) investigação; e 3^a) discussão final. No entanto, ainda que os *slides* projetados nas discussões iniciais e finais tenham sido muito semelhantes aos usados no Estudo 2³⁷, as exposições da professora puderam ser bem mais sucintas, pois os guias de atividades e as tarefas de leitura já expunham os conhecimentos básicos necessários para trabalhar nos episódios de modelagem. Com isso, os alunos dispunham de mais tempo para a realização de suas investigações. Em relação às discussões finais das atividades, a estratégia adotada no Estudo 2 foi mantida nos episódios de modelagem do Estudo 3. Os estudantes apresentavam suas investigações e, em seguida, a professora da disciplina conduzia um debate sobre possíveis soluções para as situações propostas nas atividades.

Assim como no Estudo 2, debates sobre o significado dos principais conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica eram conduzidos em todas as fases das atividades. No entanto, como resultado do aprofundamento desse campo conceitual promovido pelo Estudo Teórico, as discussões sobre conceitos de “experimento” e de “medição” foram aprofundados, assim como os debates sobre o processo de contrastação das ideias científicas. Os termos “modelo” e “teoria” continuaram sendo tratados como sinônimos de “modelo teórico” e de “teoria geral”, respectivamente, na acepção de Bunge. Também não buscamos diferenciar os termos “idealização” e “aproximação”, usando apenas a expressão “simplificação da realidade”, e procuramos não usar o termo “referente”, e sim a expressão “objetos da realidade”.

Na primeira aula de disciplina, entregamos aos estudantes uma cópia do protocolo de avaliação dos relatórios experimentais a serem entregues por eles. De modo semelhante ao instrumento utilizado na análise dos relatórios do Estudo 2, o protocolo é constituído por uma série de itens relacionados com as características dos relatórios dispostos em uma tabela, conforme pode ser visto no Apêndice N. Foi explicado aos alunos que, para cada um desses itens, a professora e o pesquisador avaliariam os relatórios em três níveis usando os seguintes símbolos: ✓, ½, e ✗, conforme considerassem que o item foi bem, medianamente ou mal atendido no relatório, respectivamente. Além disso, foi ressaltado que a professora da disciplina faria comentários nos protocolos ressaltando os aspectos positivos e as deficiências mais marcantes dos relatórios. Por fim, foi explicado também que o protocolo preenchido seria entregue aos alunos juntamente com seus relatórios corrigidos.

A opção pelo uso de um protocolo de avaliação foi baseada em resultados de pesquisa que evidenciam que protocolos de avaliação possibilitam que os estudantes desenvolvam conhecimentos metacognitivos (para uma revisão da literatura, veja PANADERO & JONSSON, 2013). Esses estudos mostram que a ciência dos itens sob os quais serão avaliados possibilita que os estudantes regulem suas cognições com vistas a alcançar os objetivos estabelecidos. Desse modo, para confeccionarmos o protocolo de avaliação, além de estabelecermos objetivos para cada um dos episódios de modelagem, que são os mesmos apresentados do Estudo 2 (Quadro 6.4), delineamos também, com

³⁷ As apresentações de *slides* utilizadas no Estudo 2 estão disponíveis em: http://www.if.ufrgs.br/gpef/modelagem/Fis_II_A_2013/. Acesso em: 25/02/2015.

base nos invariantes operatórios de referência do campo conceitual da modelagem didático-científica (Quadro 7.1), objetivos que permearam todas as atividades da disciplina. São eles:

No desenvolvimento dos episódios de modelagem, os estudantes deverão:

- Criar questões de pesquisa para as investigações experimentais realizadas.
- Expor o(s) modelo(s) teórico(s) utilizados na resolução dos problemas.
- Expor as relações entre as simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos construídos e/ou explorados, seus domínios de validade e seus graus de precisão.
- Criar procedimentos experimentais para contrastar empiricamente modelos teóricos.
- Planejar análises dos dados experimentais com base nos modelos teóricos de referência das investigações.
- Organizar dados coletados experimentalmente com base em um modelo teórico de referência.
- Executar procedimentos estatísticos para avaliar incertezas das evidências empíricas construídas.
- Explicar diferenças entre predições e evidências durante a contrastação empírica.
- Avaliar o domínio de validade e o grau de precisão dos modelos teóricos de referência das investigações por meio da contrastação das predições e evidências.

Para cada um dos objetivos expostos acima, foram confeccionados um ou mais itens no protocolo de avaliação. A correspondência entre os objetivos e os itens do protocolo de avaliação é exposta no Quadro 8.4.

Além dos objetivos que foram apresentados, procurava-se ainda que as situações com os quais os estudantes fossem defrontados nos episódios de modelagem dessem sentido aos conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica. No Quadro 8.5 são apresentados os conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica aos quais especialmente buscou-se dar sentido em cada um dos episódios de modelagem desenvolvidos.

É importante ressaltar que também disponibilizamos aos alunos no Estudo 3, no primeiro dia de aula, as “Diretrizes para a Elaboração de Relatórios de Física Experimental” expostas no Apêndice G.

Os protocolos de avaliação constituíram uma das fontes de evidência utilizadas no Estudo 3. As outras são apresentadas na próxima seção.

8.4 Procedimentos metodológicos de investigação

Mantendo a dinâmica adotada nos dois primeiros estudos empíricos desta tese, estabelecemos instrumentos de coleta de dados com o objetivo de avaliar as proposições teóricas do estudo. Tais proposições serão apresentadas na próxima seção juntamente com os resultados da investigação. Os instrumentos de coleta de dados utilizados no Estudo 3 são bastante semelhantes aos usados no Estudo 2. São eles:

Quadro 8.4 – Objetivos dos episódios de modelagem e os respectivos itens utilizados para avaliá-los presentes no protocolo de avaliação do Estudo 3.

Objetivo de aprendizagem No desenvolvimento dos episódios de modelagem, os estudantes deverão:	Critério usado no protocolo de avaliação
Criar questões de pesquisa para as investigações experimentais realizadas.	Relaciona o objetivo da atividade com um modelo teórico. Faz referência somente a grandezas, objetos, relações teóricas ou eventos físicos previamente definidos no relatório.
Expor o(s) modelo(s) teórico(s) utilizados na resolução dos problemas.	Explicita as aplicações de leis e/ou princípios de uma teoria geral na situação física investigada, construindo um modelo teórico adequado para o experimento realizado. Não apresenta erros conceituais.
Expor as relações entre as simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos construídos e/ou explorados, seus domínios de validade e seus graus de precisão.	Ressalta as implicações das simplificações da realidade consideradas ao aplicar leis e/ou princípios de uma teoria geral à situação física investigada. Explicita os objetos reais do experimento realizado que são considerados no modelo teórico adotado, não confundindo objetos com as grandezas utilizadas para representar suas propriedades.
Criar procedimentos experimentais para contrastar empiricamente modelos teóricos.	Explicita o arranjo experimental utilizado. Explicita os instrumentos de medida utilizados. Explicita as grandezas que foram medidas e as unidades de medidas utilizadas. Explicita o evento físico investigado. Explicita procedimentos tomados para se controlar variáveis, ou seja, procedimentos realizados para que os fatores desprezados pelo modelo teórico adotado influenciem minimamente os dados experimentais.
Planejar análises dos dados experimentais com base nos modelos teóricos de referência das investigações.	Utiliza ferramentas de representação (gráficos, tabelas, figuras pictóricas, etc.) para representar os dados coletados experimentalmente de forma adequada (e.g., explicita as grandezas representadas nos eixos dos gráficos, escolhe escalas adequadas para tais eixos, etc.). Interpreta as representações apresentadas corretamente.
Organizar dados coletados experimentalmente com base em um modelo teórico de referência.	Explicita como o modelo teórico adotado dirigiu a análise dos dados experimentais.
Executar procedimentos estatísticos para avaliar incertezas das evidências empíricas construídas.	Explicita corretamente as incertezas de medida relacionadas com as imprecisões dos instrumentos de medida utilizados. Calcula corretamente as incertezas propagadas das imprecisões intrínsecas dos instrumentos de medida utilizados. Interpreta as incertezas de medida dos dados coletados experimentalmente, utilizando o número adequado de algarismos significativos para representá-los.
Explicar diferenças entre previsões e evidências durante a contrastação empírica.	Ressalta as principais fontes de incerteza relacionadas com a imprecisão dos instrumentos de medida utilizados. Ressalta as consequências das simplificações consideradas no modelo teórico adotado que não foram completamente respeitadas no experimento.
Avaliar o domínio de validade e o grau de precisão dos modelos teóricos de referência das investigações por meio da contrastação das previsões e evidências.	Avalia o modelo teórico adotado no experimento. Apresenta somente conclusões que contam com amparo de evidências experimentais. Analisa as possíveis contribuições dos resultados experimentais para a resolução do problema que norteou a investigação realizada.

Quadro 8.5 – Conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica aos quais pretendia-se dar sentido com cada Episódio de Modelagem.

Episódio de Modelagem	Conceitos de Referência
Pêndulos	Domínio de Validade; Grau de Precisão; Idealização; Aproximação; Evidência; Predição
Sistema de Amortecimento Automotivo	Controle de Variáveis; Experimento; Delineamento Experimental; Contrastação Empírica
Arquimedes e a Coroa do Rei	Medição; Modelo Teórico de Referência; Modelo Teórico Auxiliar
Resfriamento de Sistemas	Expansão; Contrastação Empírica; Domínio de Validade

a) dois questionários aplicados como testes iniciais apresentados nos Apêndices P e F. O primeiro deles foi respondido presencialmente na primeira aula da disciplina. Denominado aqui de Questionário 1, ele foi usado para avaliar o domínio dos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica. O segundo questionário, chamado de Questionário 2, é idêntico ao questionário usado no Estudo 2, e foi usado novamente para coletar, entre outras coisas, as experiências dos estudantes em disciplinas experimentais, suas expectativas para a presente disciplina, e evidências que nos permitissem inferir as suas atitudes frente a aulas experimentais. Assim como no Estudo 2, esse questionário foi respondido *online* pelos estudantes na primeira semana de aula em horário extraclasse;

b) dois questionários aplicados como testes finais. Apresentado no Apêndice P, o primeiro deles é entendido aqui como o correspondente teste final do Questionário 1. Ele difere do teste inicial pela inserção de questões que aferem o domínio dos estudantes sobre conceitos e esquemas específicos do campo conceitual da modelagem didático-científica que tratam da contrastação empírica de ideias científicas. O andamento da investigação evidenciou a necessidade de inserção dessas questões para que pudéssemos coletar dados mais precisos sobre as concepções dos estudantes sobre o trabalho experimental. Assim como no teste inicial, esse questionário, que será denominado de Questionário 1 final, foi respondido presencialmente pelos estudantes no penúltimo dia de aula da disciplina. O segundo questionário respondido pelos estudantes ao final da disciplina é bastante semelhante ao Questionário 2 respondido no início do curso. As diferenças entre esses dois questionários são especificadas no Apêndice F. Como já foi destacado no Estudo 2, a principal diferença se refere à adição da Questão 5, que foi utilizada para se mensurar as atitudes dos estudantes em relação às atividades de modelagem realizadas na disciplina. No teste inicial, foi realizada apenas uma medida de atitude em relação às atividades experimentais tradicionais, pois os alunos ainda não haviam realizado atividades com enfoque no processo de modelagem científica. Já no teste final, usamos o Questionário 1 para mensurar duas atitudes: i) em relação às atividades tradicionais; e ii) em relação aos episódios de modelagem realizados na disciplina. Desse modo, podemos comparar tanto as atitudes dos estudantes antes e após a

disciplina como as atitudes dos estudantes em relação aos dois tipos de atividades experimentais no final da disciplina;

c) filmagens das discussões finais;

d) relatórios produzidos pelos alunos sobre cada uma das atividades realizadas;

e) gravações de entrevistas semiestruturadas realizadas com os estudantes. De modo diferente do que foi feito nos estudos 1 e 2, no Estudo 3 conduzimos as entrevistas com os estudantes dispostos em grupos que correspondiam às unidades de análise da investigação. Optamos por essa modalidade de entrevista para que pudéssemos avaliar ainda as interações dos estudantes quando debatem sobre conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica. A primeira entrevista foi realizada com os estudantes 1, 2 e 3, todos do Grupo A1. Os alunos da Turma B foram divididos em duas entrevistas: uma com os estudantes 4, 5 e 6, do Grupo B1; outra com os alunos 7, 8, 9 e 10, do Grupo B2. O guia dessas entrevistas é apresentado no Apêndice Q. Destaca-se que, no início dessas entrevistas, foi solicitado aos estudantes que eles se manifestassem quando discordassem de alguma afirmação expressa por algum colega, pois, se nenhum estudante discordasse, interpretaríamos que essas manifestações exprimiam a opinião geral do grupo.

f) anotações realizadas pelo pesquisador em um caderno de campo.

Na próxima seção, apresentamos os resultados da análise dos dados coletados pelos instrumentos citados acima.

8.5 Resultados

No que segue, apresentamos os resultados do Estudo 3 divididos em seções que abordam cada uma das questões de pesquisa. Para cada uma delas, especificamos primeiramente as proposições teóricas avaliadas para, em seguida, passarmos às evidências coletadas a seu respeito.

8.5.1 Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam as crenças e as atitudes dos estudantes em relação às atividades experimentais?

Proposições teóricas: Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes construam atitudes mais positivas em relação a atividades experimentais, em decorrência da adoção de crenças que salientam os aspectos positivos dessas atividades. A adoção dessas crenças ocorre porque as atividades são frutíferas: i) para defrontar os estudantes com problemas

abertos usando guias de atividades pouco dirigidos e protocolos de avaliação, instando-os a dirigir esforços para dirimir suas curiosidades e dificuldades conceituais durante as aulas, sem sentirem-se desorientados pela falta de orientações para o desenvolvimento das atividades; e ii) para proporcionar aos estudantes situações que evidenciem as relações entre os conceitos abstratos envolvidos nas teorias científicas e a construção de representações simplificadas de eventos concretos, favorecendo a atribuição de um propósito para as atividades realizadas por parte dos estudantes.

Seguindo a dinâmica adotada nos estudos 1 e 2, os níveis de concordância dos estudantes com as afirmativas da Questão 4 do Questionário 2 inicial e das Questões 4 e 5 do Questionário 2 final (Apêndice F) foram convertidos e computados com base nas orientações metodológicas de Ajzen (HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2012). Com isso, foi possível se mensurar as atitudes dos participantes em relação às atividades experimentais tradicionais (no início e no final da disciplina) e em relação aos episódios de modelagem (medidas apenas no final da disciplina). O coeficiente de fidedignidade alfa de Cronbach (FIELD, 2009) obtido com as questões foi de 0,814, evidenciando que as questões mensuram um mesmo construto. Novamente, fizemos a normalização das atitudes medidas para valores entre 0 e 10. A Tabela 8.1 sintetiza essas atitudes.

Tabela 8.1 – Atitudes dos participantes do Estudo 3 em relação às atividades experimentais tradicionais e aos episódios de modelagem desenvolvidas no estudo.

Estudante	Teste Inicial	Teste Final	
	Atitude em relação às atividades experimentais tradicionais	Atitude em relação aos episódios de modelagem	Atitude em relação às atividades experimentais tradicionais
1	9,1	8,1	6,9
2	10	8,8	8,8
3	9,4	9,7	8,1
4	6,3	9,1	3,8
5	7,8	7,5	5,6
6	9,1	9,1	7,2
7	7,8	9,7	5,3
8	-	10	10
9	-	7,8	6,6
10	8,4	9,4	4,7
Média	8,5	8,9	6,7

Por meio do teste de Wilcoxon pareado, foram identificadas diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5% entre: i) as atitudes dos estudantes em relação aos episódios de modelagem e as suas atitudes em relação às atividades experimentais tradicionais mensuradas ao final da disciplina; e ii) as atitudes dos estudantes em relação às atividades experimentais tradicionais medidas antes e depois da disciplina. Não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre as atitudes dos participantes em relação às atividades experimentais tradicionais mensuradas antes da disciplina e suas atitudes em relação aos episódios de modelagem.

As atitudes dos estudantes em relação às atividades experimentais tradicionais sofreu um decréscimo significativo após a disciplina, passando do valor médio de 8,9 para 6,7. Interpretamos

esse resultado como uma evidência de que a disciplina influenciou os estudantes no sentido de os tornarem mais exigentes quanto às atividades experimentais que eles realizam nas aulas de laboratório. Já as atitudes dos estudantes em relação aos episódios de modelagem não foram estatisticamente distintas das atitudes mensuradas no início da disciplina. Isso evidencia que as atividades desenvolvidas na disciplina não tornaram as atitudes dos estudantes mais positivas em relação às aulas de laboratório. No entanto, os episódios de modelagem modificaram a concepção dos estudantes sobre o que eles entendem sobre uma boa atividade experimental, pois, ao final da investigação, eles apresentaram atitudes mais positivas em relação às atividades realizadas na disciplina do que em relação às atividades experimentais tradicionais.

Para aprofundar a análise sobre as crenças e as atitudes dos estudantes frente às atividades experimentais e aos episódios de modelagem, apresentamos na sequência uma avaliação específica sobre cada unidade de análise que compôs o caso investigado no Estudo 3.

Grupo A1

A média das atitudes dos estudantes no início da disciplina, mensurada como 9,5, nos possibilita constatar que os participantes do Grupo A1 já possuíam atitudes favoráveis às atividades experimentais tradicionais no início da disciplina. Suas respostas ao questionário respondido no início da investigação corroboram essa constatação. A Estudante 2, por exemplo, quando discutia sobre suas expectativas para a disciplina “Física Experimental I – A”, que antecedeu a investigação, afirmou: *“A minha expectativa para Física Experimental I - A era construir alguns experimentos simples e discutir algumas questões de Mecânica. O curso foi muito além disso. [...] Percebi que mesmo em um curso de bacharelado é possível discutir questões conceituais que propiciam a construção do meu próprio conhecimento e dos meus colegas”*. Quando debatiam sobre suas expectativas para o curso, as estudantes mostravam entender que a disciplina tinha como propósito complementar os conteúdos da disciplina teórica. A Estudante 3, por exemplo, disse no início da disciplina: *“Eu espero que a disciplina me ajude a complementar a visão dos conteúdos que serão dados na Física 2”*. O Estudante 1 também destacou que desejava relacionar teoria e prática nas aulas experimentais. Ele afirmou: *“A minha expectativa para as aulas é ver, ou não ver, funcionando no ‘mundo real’ os modelos teóricos. Espero da disciplina uma compreensão melhor da conexão entre o teórico e o experimental”*.

A média das atitudes dos estudantes do Grupo A1 em relação às atividades experimentais tradicionais no final da disciplina foi 7,9, enquanto que em relação aos episódios de modelagem foi 8,9. Esses resultados demonstram que os estudantes tinham um sentimento favorável aos episódios de modelagem. Tal conclusão foi corroborada por suas falas. Os três estudantes afirmaram que suas expectativas foram superadas na disciplina. O Estudante 1 disse: *“O modo que a disciplina foi conduzida durante o semestre foi melhor do que as expectativas”*. Já a Estudante 2 afirmou: *“Na verdade [Física] experimental II foi muito além das minhas expectativas”*. A Estudante 3 disse: *“Consegui aprender coisas que não esperava”*.

Em entrevista, os estudantes do Grupo A1 também demonstraram ter preferência pelos episódios de modelagem. Comparando a disciplina realizada com essa metodologia de ensino com outras disciplinas experimentais que cursou, a Estudante 3 afirmou: “*Eu achei tudo muito bom. A gente compara com alguma coisa que a gente tem agora [referindo-se à disciplina “Física Experimental III – A”, que ela estava cursando no momento da entrevista]... [pausa] É a melhor Física experimental que eu acho que vou fazer na UFRGS [referindo-se à disciplina “Física Experimental II – A”]*”. Nesse momento, os estudantes 1 e 2, espontaneamente, balançaram a cabeça indicando que concordavam com as palavras da colega. A Estudante 3 ainda complementou: “*Se dessem todas as Física do jeito que vocês estão fazendo, eu acharia melhor*”.

Analisando-se as crenças dos estudantes sobre as atividades conduzidas na disciplina, podemos constatar, com base nos dados coletados, que eles apreciaram a liberdade da qual dispunham nas atividades. Demonstrando isso, as estudantes travaram o seguinte diálogo sobre outra disciplina experimental que cursavam:

Estudante 2: *O professor diz para a gente fazer, montar as coisas sozinhos, mas o que eu acho chato é: ele tem que olhar todos os grupos, verificar se foi montado corretamente, ‘ah, agora pode ligar’. ‘Agora a gente faz tal coisa’. Ai tá, todos fizeram. ‘Agora a gente faz tal coisa’. É um modo muito fechado. Eu faço isso, isso e aquilo. Escrevo um relatório. As coisas que o professor quer ouvir. Entendeu?*

Estudante 3: *Sim! É isso! É o que está acontecendo comigo. Ele dá um roteiro e tu tem que fazer isso. Tu não pensa. Não como a gente fazia antes, que vocês colocavam tudo ali e a gente fazia a experiência. A gente media o que a gente achava importante. A gente tinha uma ideia e a gente fazia. Agora a ideia é do professor e a gente tem que fazer o que está ali. Na maioria das vezes não entende porque tu está fazendo isso, o que tu está fazendo.*

Estudante 2: *Até porque experimental e teórica não andam juntas, né?*

Os estudantes destacaram, no entanto, que, para que a liberdade para tomar decisões nas atividades fosse proveitosa, as tarefas de leitura, que foram implementadas somente após o segundo Episódio de Modelagem, foram cruciais. Questionados sobre as mudanças que promoveriam na disciplina com o objetivo de melhorá-las, a Estudante 3 disse: *Eu acho que seria bom ter tarefas de leitura desde a primeira experiência, já que as mesmas ajudam a entender melhor o trabalho que faremos depois em sala de aula*”. A Estudante 2 afirmou: *Achei boas as modificações no decorrer do curso. [...] melhorou muito com as tarefas de leitura e as discussões em sala*”. Em entrevista, os estudantes voltaram a destacar a importância das tarefas de leitura. A Estudante 2, por exemplo, disse:

O semestre melhorou muito depois das tarefas de leitura. Aquele início foi meio catastrófico. A gente caiu de paraquedas em cima do primeiro Episódio de Modelagem, sem nem imaginar como deveria fazer. [...] Depois, com a tarefa de leitura, melhorou bastante.

A Estudante 3 complementou:

Essa parte do episódio, da leitura, assim, eu acho muito importante para o relatório. Essa parte eu sinto falta agora na Física que eu estou fazendo, na experimental. Porque tinha ali um experimento que tu não sabia nada. E com a tarefa de leitura tu chegava para fazer o experimento e a gente tinha uma noção de o que a gente vai fazer, da Física que tinha por trás do que tu iria fazer ali. Então, foi muito bom a parte da tarefa de leitura

Questionado se concordava com as manifestações das colegas, o Estudante 1 balançou a cabeça positivamente.

Criticando outra disciplina que estava cursando, a Estudante 3 evidenciou que, em decorrência das tarefas de leitura, criou o hábito de estudar os conteúdos científicos antes das aulas experimentais da disciplina “Física Experimental III – A”. Ela disse:

A gente vai ao laboratório e já começa a fazer. Então eu fico meio perdida. E na hora de eu fazer o relatório é mais difícil eu conseguir explicar. Eu quase não entendo o que eu estou fazendo. [...] Não tem uma aula de teoria para preparar o negócio ali. Ele [o professor da disciplina] quer um relatório perfeito, mas ele não fala da teoria. Então eu estou tendo que estudar a teoria antes da aula sozinha.

Manifestando suas opiniões sobre os guias de atividades, os estudantes demonstraram não ter apreciado o formato dos guias disponibilizado na disciplina. O Estudante 1, por exemplo, sugeriu no questionário respondido ao final da disciplina que “o material fosse um pouco mais conciso” em futuras aplicações dos episódios de modelagem. Em entrevista, o estudante explicou sua opinião:

Estudante 1: *Eu acho que podia ser um pouquinho mais sucinta a quantidade de perguntas. Não sei se eu tenho razão ou não no que eu estou dizendo, mas parece que, assim, a gente pegava aquele questionário para começar a fazer o Episódio de Modelagem, daí era da questão 1 até a 8 ou 9, né? [referindo-se às questões que precisavam ser respondidas no caderno de laboratório antes de estágio empírico das investigações] E a gente começava a responder o troço. E depois parece que tinha que fazer com dados experimentais dali para diante, né? [referindo-se ao estágio empírico das investigações] Eu não sei se eu estou certo, mas me pareceu, não é repetitivo, mas ficou... tinha coisa demais, me parece, aquilo ali.*

Estudante 2: *Mas, no final, a gente nem usava mais aquilo.*

[...]

Estudante 1: *Eu não sei, professor [dirigindo-se ao pesquisador]. O guia nos orienta a fazer os troços.*

Estudante 2: *Talvez enxugar um pouco mais as questões. Ou juntar questões.*

Essas manifestações mostram o que já havíamos detectado ao longo da disciplina, e por isso introduzimos modificações: i) a dificuldade dos estudantes para responder, no caderno de laboratório, às perguntas preparatórias para a parte empírica da atividade, e por isso introduzimos as tarefas de leitura; ii) e uma certa mecanicidade na forma como os estudantes registravam suas respostas nos seus cadernos, o que levou a professora a ser menos exigente na avaliação dos cadernos dos estudantes antes de eles começarem o estágio empírico das suas investigações.

Em relação ao protocolo de avaliação dos relatórios experimentais, os estudantes apresentaram manifestações mais positivas do que as expostas sobre os guias de atividades. Eles dialogaram da seguinte forma na entrevista:

Estudante 2: *Por isso a gente sabe quando o relatório está bom ou ruim.*

Estudante 3: *Sim. Quando está faltando alguma coisa, a gente sabe, porque a gente fazia o relatório e começava a olhar ali: ‘Ah, tem isso. Ah, me falta, mas eu não sei o que colocar. Vou deixar’.*

Estudante 2: *E provavelmente a gente vai usar isso para sempre. No TCC [Trabalho de Conclusão de Curso], principalmente. Eu vou usar aquilo.*

Estudante 1: *Eu achei bom para se guiar e para depois ter um feedback do relatório, né?*

A manifestação do Estudante 1 evidencia que o protocolo de avaliação efetivamente serviu para guiar os estudantes, evitando que eles se sentissem desorientados nas atividades. Pode-se constatar, ainda, que os estudantes apreciaram a forma como os relatórios foram corrigidos:

Estudante 3: *Uma coisa que eu achei também muito boa do curso é que vocês, toda semana, corrigiam os relatórios e falavam coisas que estavam erradas. E a gente conseguia, para o outro relatório, já saber o que tinha errado no primeiro para melhorar.*

Estudante 2: *Às vezes eu tenho a impressão de que alguns professores nem leem o que a gente escreve. E vocês, dava para perceber, que vocês liam cada linha do relatório. Acho que vocês liam umas três vezes cada linha.*

Outro fator que agradou os alunos nos episódios de modelagem foi a forma como as atividades relacionavam os eventos investigados com os conteúdos científicos estudados, destacando que os modelos científicos não representam esses eventos perfeitamente. A Estudante 2, quando disse que suas expectativas foram superadas na disciplina, justificou dizendo: *“Eu pude ver algumas coisas funcionando dentro de alguns limites e o mais interessante é perceber que a Física não explica tudo e que existem muitas limitações”*. Apresentando os motivos pelo qual preferiu os episódios de modelagem em relação às atividades experimentais, a Estudante 3 disse: *“Saber combinar numa aula experimentos e teoria ajuda ao estudante a compreender o que está fazendo e a conseguir explicar fisicamente o experimento realizado”*. Em entrevista, o seguinte diálogo vai ao encontro dessas manifestações dos estudantes:

Estudante 2: *Mesmo que a gente tenha limitações, o que a gente vê na experimental não é exatamente o que a gente vê na teórica, mas a gente consegue enxergar alguns limites da Física teórica e daí não fica naquele mundinho de tudo é lindo, maravilhoso.*

Estudante 1: *Pois é... O legal da experimental é que a gente sai do mundo do faz de conta, pois a gente vê que a mola tem limite, quando a gente vê que as coisas... [pausa] o plano inclinado não é tão plano assim, que pode ter mil coisas ali no troço. A gente sai daquele mundo de faz de conta, que é meio que o mundo da Física teórica.*

As manifestações acima demonstram que os estudantes interessam-se pela compreensão das relações entre os conteúdos teóricos e o trabalho experimental. Isso se refletiu nas respostas das estudantes 2 e 3 quando perguntadas sobre o Episódio de Modelagem que mais apreciaram.

Estudante 2: *Para mim, foi o primeiro. O de torques. O de pêndulos. O primeiro, né? Eu aprendi muita coisa com aquilo. Eu fui bem na prova de Física teórica por causa desse Episódio de Modelagem. Porque a gente precisou deduzir a fórmula do pêndulo, do período do pêndulo, e o meu professor pediu exatamente a mesma coisa na prova.*

Estudante 3: *Sim. Eu acho que no primeiro e no segundo foram também os que eu achei assim que vimos mais coisas, que foi mais produtivo.*

Estudante 1: *Eu não sei, eu gostei, claro, do primeiro e do segundo, mas eu tenho uma recordação assim, talvez por ser um dos últimos também, o de resfriamento de sistemas. Eu gostei bastante daquilo. Olha, e foi uma ‘trabalheira do cão’ o de resfriamento de sistemas. Mexer na placa Arduino, ficar aqui horas monitorando a temperatura e a umidade do ar, mas eu achei bacana aquela ‘trabalheira’.*

Estudante 3: *Eu acho que a gente conseguiu aprender mais, porque nos outros, nos dois últimos, a gente trabalhou com um monte de coisas, mas, Física mesmo, eu acho que nos dois primeiros a gente viu mais coisas, falando de Física mesmo. A Arduino e essas coisas ajudaram no relatório, mas não era tanto Física. Era tu aprender a fazer alguma coisa no computador. Os dois*

primeiros episódios tinham mais Física. Esse tinha Física, mas era um pouquinho mais difícil para nós entender, e, além disso, trabalhamos com um monte de equipamentos.

A vinculação das atividades com eventos cotidianos também foi um fator que agradou os estudantes. Tal característica dos episódios de modelagem foi destacada pelo Estudante 1 em entrevista:

Uma característica da discussão final que eu achei bom... da atividade em si, era a contextualização, assim, com outras coisas. Tipo o episódio do resfriamento, que daí mostrava várias coisas onde se aplicava aquilo que não tinha nada a ver com o experimento em si. Nada ver assim: a gente não pegou um cantil pra esfriar, ou um daqueles troços de água [se referindo à moringa] que tinha uma torneirinha em baixo. Não sei se seria visto em uma aula normal, ou em outra aula de um jeito mais tradicional. A contextualização com outras coisas, eu achei bacana. A aplicação daquilo ali em um monte de coisa.

Debatendo sobre as características dos episódios de modelagem que lhes agradaram, os estudantes demonstraram ter apreciado as discussões finais.

Estudante 1: *A discussão final é muito bacana, porque, se tinha alguma coisa que não tinha sido bem entendido, ali a gente discutia bastante o problema.*

Estudante 2: *Vocês sempre perguntavam coisas, né? E tentavam fazer com que a gente falasse. Dai um falava um pouco, o outro discordava ou concordava, e vocês complementavam.*

Estudante 3: *Sim. Era uma aula nossa. A gente apresentava resultados, falava o que achava.*

No entanto, assim como alguns dos participantes dos estudos 1 e 2, os estudantes destacaram que se sentiam envergonhados durante as primeiras discussões:

Estudante 3: *Eu, no início, porque eu tinha meio vergonha de falar em grupo. Ainda mais em português. Mas depois eu já me senti bem.*

Estudante 2: *Quando eu não conheço as pessoas, eu me sinto muito embrulhada para falar em grupo. Eu me sinto constrangida para falar nas minhas reuniões de bolsa, porque eu não conheço as pessoas. Tem bolsistas novos, e eu não conheço eles, e para mim é complicado.*

Tais manifestações evidenciam a importância de se construir um ambiente de respeito e de abertura durante as discussões finais dos episódios de modelagem. O Estudante 1 destacou ainda que o número pequeno de estudantes participantes das aulas favoreceu que eles se sentissem mais à vontade para se manifestar.

Questionado sobre as desvantagens dos episódios de modelagem, o Estudante 1 disse:

Mas o tempo que a gente gastava fora dali, era muito mais. [...] Para tu ter uma noção, teve uma vez que a gente demorou uma tarde para fazer dois gráficos. Para fazer o último relatório experimental, que saiu ruim o meu, por sinal, eu achei de má qualidade, eu passei uma madrugada inteira. Sem mentira, da meia-noite até as seis da manhã. Porque eu já estava lá no último prazo para entregar e eu sentei assim e 'agora vai'.

As estudantes 2 e 3 se manifestaram dizendo que discordavam que o tempo gasto fora da sala de aula era uma desvantagem dos episódios de modelagem. A Estudante 3 argumentou dizendo: *“Eu acho que a disciplina exigir mais no horário extraclasse, todas as disciplinas que exigem relatório vai acontecer isso. Não tem como. Um relatório sempre exige”.*

Em suma, os dados coletados evidenciaram que os estudantes construíram atitudes favoráveis em relação aos episódios de modelagem. Foi constatado que os fatores que mais agradaram aos estudantes foram: i) a liberdade que tinham para tomar decisões nas atividades; ii) as tarefas de leitura, que os deixava preparados para as atividades, o que contribuía para que eles não se sentissem desorientados; iii) a vinculação dos conteúdos científicos com eventos concretos, destacando o caráter representacional dos modelos científicos; e iv) os protocolos de avaliação, que os guiaram na realização de investigações mais completas.

Grupo B1

Analisando-se os dados da Tabela 8.1, podemos constatar a partir da média das atitudes dos estudantes no início da disciplina, igual a 7,7, que os estudantes do Grupo B1 tinham atitudes relativamente favoráveis às atividades experimentais tradicionais. Em questionário, no entanto, os estudantes manifestaram o desejo de que as atividades da disciplina que começava vinculasse os conteúdos científicos com eventos reais. A Estudante 4, por exemplo, disse que esperava que a disciplina a ajudasse “*a analisar corretamente os fenômenos físicos no mundo ‘real’*”. Já o Estudante 6 disse: “*Espero que a disciplina contribua ao meu aprendizado apontando e evidenciando os problemas que acontecem quando a Física é posta à prática*”.

A Tabela 8.1 demonstra também que os estudantes tinham, ao final da disciplina, uma atitude bastante mais positiva em relação aos episódios de modelagem do que em relação às atividades experimentais tradicionais, cujas atitudes médias foram computadas com os valores de 8,6 e 5,5, respectivamente. As manifestações dos estudantes em entrevista corroboram esses dados. Solicitada a comparar a disciplina realizada com episódios de modelagem com outras disciplinas que ela já havia cursado, a Estudante 4 disse: “*Eu gostei muito mais da Física [experimental] II*”. O Estudante 6 disse: “*Eu gostei mais da dois [se referindo à disciplina “Física Experimental II – A”], porque eu tive que me esforçar mais. Eu sinto que aprendi mais na Física II do que na Física I*”. O Estudante 5 complementou: “*Isso eu concordo! Na Física I foi aprender a calcular erro. Mas foi muito bom. Eu aprendi a calcular erro, mas, como ele falou, não tinha muita expectativa nos experimentos*”.

Quando questionados em entrevista sobre a liberdade que tinham nas atividades para tomarem decisões sobre as investigações que realizariam, os estudantes 4, 5 e 6 se dividiram. Enquanto os dois primeiros afirmaram que a liberdade que dispunham nos episódios de modelagem não era diferente da liberdade que possuíam durante as tarefas realizadas na disciplina “Física Experimental I – A”, o Estudante 6 argumentava que a liberdade era um fator positivo das atividades conduzidas na investigação. No questionário respondido ao final da disciplina, quando perguntado sobre quais atividades julgava mais proveitosas, ele disse: “*Acredito que mais proveitosas em sentido de aprendizado são as atividades de modelagem. Porque há mais liberdade para a investigação do experimento e é necessário mais iniciativa dos alunos*”. Em entrevista, quando solicitados a comparar se manifestaram do seguinte modo:

Estudante 5: *Acho na Física I a gente acabava ficando bem mais livre.*

Estudante 4: *Para mim, foram bem parecidos. O grau de liberdade.*

Estudante 6: *Para mim, por exemplo, na [Física experimental] 1 eu não pensava em escolher modelo teórico, eu não comparava modelos. Eu tinha um modelo e aí eu media... eu testava experimentalmente de outras formas. Daí na [Física experimental] 2 eu podia ter liberdade nos dois: no modelo e na experiência. E na 2 eu podia também escolher que variáveis que eu podia medir no experimento. E na 1 a proposta era tu medir determinada variável e comparar com determinada teoria. [...] Não. Eu acho que Física 2 foi mais aberto que Física 1.*

O Estudante 6 ainda criticou a disciplina experimental que cursava no momento da entrevista em função da falta de liberdade que dispunha para realizar suas investigações. Com um tom pejorativo, ele disse: *“Na Física III [Física Experimental III - A], até agora, não tem que escolher nada. O roteiro deve ser aquele há quatro anos, já. É tudo igual. Todo mundo faz exatamente a mesma coisa”*.

Cabe observar que os estudantes 4 e 5, ao contrário do Estudante 6, foram alunos na disciplina “Física Experimental I – A” de um professor que no semestre anterior ministrara “Física Experimental II – A. Nessa oportunidade, esse professor tomou contato com a proposta de atividades de modelagem desenvolvida pelo autor desta tese e motivou-se a tal ponto que decidiu conduzir em suas turmas as mesmas atividades propostas pelo pesquisador no Estudo 2, dando maior liberdade aos alunos do que em semestres anteriores. É bem possível que, ao ministrar Experimental I no semestre seguinte, liberdade semelhante tenha sido dada aos alunos.

É necessário ressaltar aqui que na disciplina “Física Experimental I – A”, os estudantes 4 e 5, ao contrário do Estudante 6, foram alunos de um professor que teve grande contato com a proposta de atividades de modelagem desenvolvida pelo autor desta tese, inclusive ao ministrar a disciplina “Física Experimental II – A”, conduzindo as mesmas atividades propostas pelo pesquisador no Estudo 2. Possivelmente influenciado pela proposta de atividades de modelagem, o docente realizou atividades mais abertas também quando ministrou a disciplina “Física Experimental I – A”.

Em relação aos guias de atividades, os estudantes demonstraram não atribuir muita importância para eles. O seguinte diálogo ocorreu durante a entrevista:

Estudante 5: *Eu achava meio desnecessário, porque volta e meia a gente acabava não usando. Porque a gente já tinha a apresentação, e tinha os textos de apoio que vocês indicavam. Então, em muitos casos a gente não usou.*

Estudante 4: *Ah, mas eu lembro da gente precisando daquelas fórmulas.*

Estudante 6: *É. Tinham umas coisas sobre as equações nos do fim.*

O tom das manifestações dos estudantes mostra que para eles ainda que os guias tenham os auxiliado em alguns momentos, eles não foram muito importantes nas atividades.

Manifestando suas opiniões sobre o protocolo de avaliação dos relatórios experimentais, os estudantes comentaram:

Estudante 5: *Aquilo realmente ajudou, porque facilita ver onde a gente está errando na escrita. Isso é muito importante para o nosso futuro como físicos... conseguir escrever, demonstrar, escrever bem o que a gente quer e demonstrar tudo o que a gente fez claramente... Isso pelo menos me ajudou bastante.*

Estudante 4: *Também me ajudou.*

Estudante 6: *Para mim, eu fui ver os feedbacks mais pro fim. Eu não dei tanta importância.*

Pesquisador: *E as correções? Tu viu?*

Estudante 6: *Eu vi os finais. Os primeiros eu não vi.*

Pesquisador: *Mas, no final, tu gostaste?*

Estudante 6: *Eu não sei dizer muito bem sobre isso. Não sei porque, naquela hora, eu tinha outras preocupações. E, se eu via que a minha nota estava boa, e eu sabia que eu tinha feito... que tu tinha, tipo, esclarecido algumas coisas do relatório, aí eu... eu ficava focado em estudar outras coisas. É por isso que tu não dei tanta importância.*

Pesquisador: *Então os protocolos de avaliação não foram tão marcantes?*

Estudante 4: *Para mim foi. Eu gostei de ver onde eu estava errando.*

Percebe-se que, ainda que os estudantes 4 e 5 tenham manifestado que gostaram do protocolo da avaliação, eles o utilizaram como uma norma para redigir relatórios, e não como um guia para nortear sua investigação experimental. Nesse sentido, as tarefas de leitura foram, na opinião dos estudantes, mais importantes. No questionário respondido ao final da disciplina, o Estudante 5, argumentando o motivo de preferir Episódio de Modelagem em relação às atividades experimentais tradicionais, disse:

Acredito que as aulas com episódios de modelagem sejam mais proveitosas, pois assim vemos uma breve introdução ao assunto tratado na aula que nos facilita a compreensão do assunto que será tratado e do experimento a ser elaborado.

Em entrevista, o Estudante 5 voltou a destacar as leituras realizadas na disciplina dizendo:

Eu gostei bastante dos episódios de modelagem porque... Bom... No final, a gente ganhava tempo durante os experimentos. Porque todas as equações que a gente teria que deduzir na hora a gente já tinha deduzido no episódio de modelagem [referindo-se à tarefa de leitura]. Ao menos o que a gente usava. E vinha mais preparado para o que a gente iria fazer. Eu acabava lendo mais sobre o assunto tanto para resolver os probleminhas quanto para o próprio experimento que a gente iria fazer. Eu gostei bastante. Eu achei muito bom.

Em outro momento, os estudantes dialogaram do seguinte modo:

Estudante 6: *Eu gostei quando eu tinha que ler antes. Ficou mais fácil de começar o experimento quando tu dava aquela tarefa. Eu já tinha mais ideia do que medir, de como começar [a Estudante 4 balança a cabeça positivamente].*

Estudante 5: *Sim. E os textos todos complementares que vocês passaram. Os de resfriamento, eu li todos.*

Estudante 4: *Eu achava ótimo. Dava uma visão geral do problema. Te aprofundava em algumas coisas.*

Em seguida, o pesquisador questionou os estudantes dizendo: “*Me parece que as tarefas de leitura foram muito mais marcantes do que os protocolos de avaliação, do que qualquer outra coisa, né?*”. Os três entrevistados concordaram.

Os estudantes demonstraram também ter apreciado as discussões finais. O Estudante 5, por exemplo, disse em entrevista:

Isso [a habilidade para se comunicar publicamente] é um coisa muito boa que não é trabalhada em nenhuma experimental também, nenhuma geral, nada. É uma coisa muito importante. Eu também no final estava me sentindo mais à vontade para falar. Isso é bom, porque, se a gente continuar, a gente vai ter que dar palestras. E até nos próprios salões de iniciação científica que têm...

O Estudante 6 ressaltou então a necessidade de se criar um ambiente de abertura nas discussões para que os estudantes efetivamente se envolvam com o debate:

Estudante 6: *Eu tive um professor uma vez que, tu chegava para ele para reclamar da correção da prova, e aí tu chegava perguntando: ‘ah, professor, eu*

tenho dúvida nessa questão 6'. Aí ele tirava o óculos e ficava te olhando assim [faz uma expressão facial representando um sujeito arrogante], com uma cara de satisfação. Aí tu já começava a tremer a folha: 'não, é que depois da vírgula aqui'. 'O que depois da vírgula?' [representando o professor com uma voz autoritária]. Aí tu já desistia. 'Eu já vi que eu errei'. Aí tu cai fora. Acho que vai da confiança de...

Estudante 4: *...explicar teu ponto ali.*

Estudante 6: *É. De tu continuar com a tua opinião, sabe?*

Pesquisador: *"Então tu achas que nos episódios de modelagem se dava liberdade para isso, então? Para que tu falasse sem ter medo de ser reprimido?"*

Estudante 6: *É. Te dava oportunidade de ter mais confiança na tua ideia.*

No questionário respondido ao final da disciplina, a Estudante 4 argumentou que suas expectativas tinham sido alcançadas na disciplina justificando o seguinte: *"Acho que me senti mais à vontade nas aulas de laboratório"*. Essa manifestação também demonstra a importância da criação de um ambiente agradável durante as aulas.

Os dados coletados evidenciaram também que o vínculo entre teoria e prática promovido nos episódios de modelagem foi um fator que agradou aos estudantes. O Estudante 6, em entrevista, disse:

Eu gostei também que tinha aplicação desse fenômeno em equipamentos e tecnologias. Por exemplo, no sistema automotivo, tinha o amortecedor do carro, tu tinha o amortecedor de porta, com aquele pistão e um fluido. Que aí era lento, para que a porta volte com a mola. Isso eu gostei. Que tu pode ver a aplicação.

Quando questionados sobre o Episódio de Modelagem que julgaram mais proveitoso, os estudantes demonstraram apreciar as atividades que envolvem conteúdos científicos que foram pouco tratados em disciplinas teóricas. O Estudante 6, por exemplo, argumentou que o Episódio de Modelagem "Resfriamento de Sistemas" foi o mais proveitoso dizendo:

Teve muito daquilo, da diferença de gás e vapor, e aquilo é totalmente novo. E até agora a gente não viu em Física teórica isso. E aí, quando falou de calor, e aí, a transferência de calor, eu aprendi... foi o que eu mais aprendi, até porque na Física II, muita coisa não ficou claro sobre nesse assunto.

A Estudante 4 se manifestou apresentando concepção semelhante. Ela disse: *"Esse aspecto foi muito legal. Trazer coisas que não tem, sabe? Que a gente não prevê. São coisas meio únicas da cadeira. Acho isso bom"*. Quando questionados sobre a atividade menos proveitosa, os estudantes corroboraram a conclusão de que eles preferem atividades que envolvem conteúdos novos para eles. Eles argumentaram que a atividade menos proveitosa foi a intitulada "Pêndulos" dizendo:

Estudante 5: *Acho que as primeiras de pêndulos. Isso a gente já tinha feito na Física experimental I. Então, pelo menos da minha parte, eu acabei não dando muita importância.*

Estudante 6: *É... A gente tinha visto isso antes já.*

Perguntados sobre as desvantagens dos episódios de modelagem em relação às atividades experimentais tradicionais, somente o Estudante 6 se manifestou. Ele afirmou no questionário respondido ao final da disciplina que *"as experiências dos episódios de modelagem não tendem a trazer conclusões e revelação tão fortes e interessantes como as experiências tradicionais"*. Em entrevista, o estudante voltou ao assunto exemplificando:

É tipo aquela, por exemplo, da constante gravitacional [referindo-se ao Experimento de Cavendish, que foi realizado durante a disciplina de forma tradicional], que tu fez com o laser refletido na parede. Aquilo é programado e é um experimento fabuloso, e o resultado é bem surpreendente porque foi repensado e foi refinado. E aí, quando tu faz um episódio de modelagem, tu não tem aquela segurança de que vai dar certo, tu não tem segurança que o resultado que tu vai ter vai ser tão convincente e tão evidente. É mais possível de ter erro e tu não conseguir observar tão claramente”.

Resumidamente, podemos afirmar que os estudantes construíram atitudes favoráveis em relação aos episódios de modelagem. Isso ocorreu principalmente em função das tarefas de leitura, que possibilitaram que os estudantes se adiantassem em suas investigações, evitando que eles se desnortearassem nas atividades, e que se aprofundassem nos conteúdos científicos envolvidos.

Grupo B2

Os dados da Tabela 8.1 mostram que os estudantes 7 e 10 tinham atitudes medianas no início da disciplina, com média 8,1. No entanto, a seguinte manifestação do Estudante 7 evidenciava que ele não ficou satisfeito com a disciplina “Física Experimental I”:

O que eu esperava das aulas de laboratório em Física I [Física Experimental I - A] era que fossem superiores às aulas experimentais do ensino médio público, onde os alunos ficavam perdidos e só aguardavam ansiosamente a hora de ir embora. Mas isso não aconteceu. Foi uma tremenda perda de tempo, como no Ensino Médio.

Em entrevista, o Estudante 10 também demonstrava que as atividades experimentais realizadas por ele no Ensino Médio não lhe agradaram. Ele disse: “Laboratório, quando eu fiz o Ensino Médio, eu fiz uma só, que foi muito chata”. Já o Estudante 8 expressou sua insatisfação com a disciplina “Física Experimental I – A” dizendo: “Eu considero negativa porque o aluno só coleta dados, né? Não tem aquela questão de questionar, né?”. Desse modo, podemos dizer que, ao mesmo tempo em que os estudantes demonstravam que gostavam de atividades experimentais, eles manifestavam insatisfação com as atividades realizadas em aulas experimentais de disciplinas previamente cursadas.

Ao final da disciplina, os dados coletados tornaram muito evidente a preferência dos estudantes do Grupo B2 por episódios de modelagem em relação às atividades experimentais tradicionais. A média das atitudes dos estudantes em relação aos episódios de modelagem foi computada como 9,2, enquanto que em relação às atividades tradicionais foi mensurada como 6,3. Além disso, as manifestações dos estudantes tanto no questionário respondido ao final da disciplina como em entrevista mostravam que eles apresentavam um sentimento favorável aos episódios de modelagem. Questionado sobre a metodologia de ensino que julgava mais proveitosa, o Estudante 10, por exemplo, disse: “Eu acho que as de modelagem são mil vezes mais proveitosas”. O Estudante 8 disse que suas expectativas “foram alcançadas, e considero muito boa a disciplina”. Em entrevista, ele complementou: “A Física [experimental] II foi para mim muito mais positiva do que Física [experimental] I”.

Solicitados a comparar a disciplina desenvolvida com episódios de modelagem com outras disciplinas experimentais, os estudantes criticaram as atividades realizadas na disciplina “Física

Experimental I – A” por elas serem mecânicas. O Estudante 10, por exemplo, disse: “*Eu tive Física experimental I que foi bem engraçada, porque o professor dava aula para nós dizendo: ‘É isso, é isso, é isso. Façam!’*”. Ele complementou afirmando: “*Ele [o professor] dava a fórmula e não dizia o porquê daquilo. Eu tinha que ligar com a teórica, e eu não fazia isso [...] Não obrigava a gente a pensar e ficava muito automático. E aí, agora, quando praticamente, entre aspas, obrigou a gente a pensar, aí foi muito mais difícil para mim, pelo menos*”. O seguinte diálogo demonstrou que a opinião do Estudante 10 era compartilhada pelo Grupo B2, e que os estudantes entendiam que o aprofundamento teórico promovido nos episódios de modelagem era importante.

Estudante 9: *Não teve muita parte assim que tu teve que achar como que tu chega numa equação, buscar a história por trás disso. [...] Acho que o experimento foi igual ao último de experimental I [referindo ao experimento realizado no Episódio de Modelagem “Pêndulos”, que os estudantes já haviam desenvolvido no final da disciplina “Física Experimental I – A”], então eu já olhei para o instrumento e já sabia como montar ele.*

Estudante 8: *Mas a diferença é o aprofundamento, né?*

Estudante 9: *É! Em experimental II a gente se aprofundou mais.*

Estudante 10: *Tu olha com outros olhos.*

No questionário respondido ao final da disciplina, o Estudante 7 também mostrou sua insatisfação com a mecanicidade das atividades experimentais tradicionais. Argumentando que suas expectativas não se cumpriram na disciplina, ele evidenciou sua concordância com a liberdade que possuía nos episódios de modelagem. Ele disse:

Eu esperava cursar a disciplina de física experimental na forma tradicional, onde um roteiro é dado ao aluno e ele deve seguir as instruções. Dessa maneira tradicional, na verdade, não se aprende muito sobre Física. Eu não esperava muito da disciplina. Do modo como a cadeira foi ministrada, eu tive liberdade para pensar de forma independente, e posso dizer que aprendi muito sobre Física.

Em entrevista, o Estudante 7 voltou ao assunto dizendo:

Em geral, a parte experimental das três cadeiras [disciplinas experimentais que ele já havia cursado] foram bem parecidas no sentido de que a gente não tinha muito liberdade para escolher como abordar os problemas. Na verdade, a gente não tinha nem muito tempo para pensar sobre o porquê que aquilo era um problema. Por que que era intrigante, né? Mas o cara chegava lá e aí tinha uma situação montada já, e tu tinha que seguir o que estava escrito em um roteirinho, e, se tu quisesse, tu lia antes de ir para a aula, mas geralmente não era o que acontecia, porque era na engenharia. Aí o cara tinha que começar aquilo ali, tinha que fazer as medições e, na verdade, o objetivo do pessoal realmente era fazer as medições rápido para ir embora, sabe? Muitas vezes tinham experimentos ali que eu queria ter ficado, queria ter mais liberdade para modificar eles, testar, ver quais eram os limites para relacionar tranquilamente com a teoria, mas não tinha tempo nem conhecimento para isso. [...] A possibilidade que tu tinha [nos episódios de modelagem] de poder mudar o experimento e de poder fazer outro ali é muito interessante.

Pode-se concluir das manifestações dos estudantes que a liberdade que possuíam durante as atividades foi um fator determinante para que eles construíssem atitudes positivas em relação aos episódios de modelagem. Foi possível concluir também que eles apreciaram a capacidade das atividades de levá-los a refletir com profundidade sobre as investigações que realizaram. Evidências disso também foram identificadas nas respostas dos estudantes ao questionário respondido ao final

da disciplina. O Estudante 9, por exemplo, disse: “Elas [as atividades de modelagem] nos eram passadas com um maior conteúdo falando a respeito do problema a ser tratado. Elas faziam com que o nosso grupo tivesse que pensar mais sobre como resolver o problema”. Já o Estudante 10, argumentando sobre o motivo pelo qual preferia episódios de modelagem em relação às atividades experimentais, disse: “Com a modelagem [referindo-se aos episódios de modelagem], somos obrigados a pensar mais sobre o assunto que vai ser tratado e experimentado”.

Questionados sobre o papel das tarefas de leitura nos episódios de modelagem, os estudantes demonstram compreender que essas tarefas nortearam suas investigações. Isso pode ser observado na seguinte transcrição da entrevista.

Estudante 10: *Para mim, foram produtivas [as tarefas de leitura].*

Estudante 9: *Para mim foi meio que uma introdução ao experimento.*

Estudante 8: *Um pontapé inicial?*

Estudante 9: *É. Um pontapé. Tipo, tu já vem para a aula com uma ideia básica do que vai ser falado, proposto, da ideia do experimento. Dai, por exemplo, tu já pode pular umas partes, tu tem mais tempo para fazer o experimento, porque tu já tem uma ideia básica, todo mundo já deu uma introdução.*

Estudante 10: *A princípio, tudo está dado.*

Estudante 9: *Em princípio, a teoria, todo mundo já leu. A gente já pode pular uma parte mais aprofundada da teoria.*

Estudante 10: *Para mim, foi o que me ajudou bastante para eu chegar sabendo o que eu iria ver. Porque o primeiro experimento, aquele do pêndulo, eu já tinha feito faz anos, uns três semestres atrás. Comecei a fazer e queria largar já, porque eu comecei a me assustar. Quando teve a tarefa de leitura, aí em casa eu fico mais calmo. Aí tu chega já sabendo. Foi bom. Eu gostei de todas.*

Estudante 8: *Um que eu gostei muito foi o do experimento de Arquimedes. Eu me lembro da tarefa de leitura. [...] Ajudou muito na hora do desenvolvimento, para descobrir o valor da composição. [...] Acho muito importante a tarefa de leitura para o experimento.*

O Estudante 7 apresentou outra perspectiva sobre as tarefas de leitura. Ele manifestou que o que mais lhe agradou nessas tarefas foi a comparação entre as respostas dos estudantes que era apresentada pela professora da disciplina. Ele disse:

O que eu curtia nas tarefas de leitura era comparar o que eu tinha pensado com o que as outras pessoas tinham pensado. Eu gostava de analisar depois. Não apenas responder, mas poder analisar depois com vocês as ideias, se estava indo pelo caminho certo.

Os guias de atividades, por outro lado, assim como ocorreu com os grupos A1 e B1, não pareceram tão importantes para os estudantes do Grupo B2. Questionados sobre suas opiniões sobre os guias dos episódios de modelagem, ainda que tenham dito que eles “estavam bons”, eles optaram por criticar o guia da atividade “Resfriamento de Sistemas”:

Estudante 10: *Todos estavam bons, na minha opinião. O que eu achei mais enrolado e mais confuso foi o último: o do resfriamento de sistemas. Começava falando de um negócio, quando tu via já estava a equação de Smith-Lof-Jones e tu nem sabe como chegou ali. E aí, eu também faço uma crítica à apresentação, que aí não teve muito aquela coisa do porquê daquilo. A gente estava fazendo, bem ou mal, a prova de um artigo. E era aquilo ali. Só que para entender o que a gente estava fazendo, tinha que ler o artigo em si, né?*

Estudante 9: *Nesse último, a gente teve muita discussão porque, na metade do texto, a gente se perdeu. A gente não sabia o objetivo. A gente não sabia se era Smith-Lof-Jones ou se era...*

Estudante 10: *...o resfriamento de Newton.*

Estudante 9: *Daí eu não gostei dessa parte.*

Destaca-se que os estudantes não manifestaram a opinião de que os guias de atividades norteariam seu trabalho. O Estudante 7 inclusive afirmou que, em alguns casos, não lia os guias, e que, assim como os estudantes do Grupo A1, ele julgou que os guias eram muito longos:

Sobre os guias, eu achava que... [pausa] na verdade eu era meio preguiçoso ali na hora de ler. Às vezes eu nem lia. Mas, quando eu lia eles, eu acabava entendendo, pelo menos no último. Se eu fosse melhorar eles, mas isso é uma coisa pessoal, o que eu procuro colocar sempre é o essencial. Só! As coisas essenciais. Tipo, só escrever o que é essencial para a explicação.

Em relação ao protocolo de avaliação dos relatórios experimentais, os estudantes, com exceção do Estudante 7, demonstraram ter um sentimento bastante favorável. No entanto, eles afirmaram que só começaram a valorizar o instrumento nos últimos relatórios da disciplina. O seguinte diálogo foi realizado quando os estudantes foram questionados sobre suas opiniões sobre os protocolos de avaliação:

Estudante 8: *Aquilo ali foi muito bom.*

Estudante 10: *Aquilo foi a coisa... [pausa] muito legal aquilo ali.*

Estudante 8: *E nos ajudou muito aquilo ali.*

Estudante 10: *Vou te ser bem sincero. No primeiro e segundo relatório eu nem olhava aquilo ali. [...] [Depois que começou a observar os protocolos de avaliação] eu melhorei muito. [...] Aquilo lá dava foco: 'Foca nisso'".*

Estudante 9: *Eu só realmente prestei atenção naquela tabela depois que tu deu a chance de arrumar o do [Episódio de Modelagem] Arquimedes. Depois dali eu montei uma estrutura no relatório que, para mim, ficou ótimo. Depois daquilo ali eu só comecei a tirar B. Notas ótimas. Aí eu comecei a ver que é bom.*

Estudante 7: *Naquilo ali, eu não prestava atenção.*

Assim como os estudantes do Grupo A1, os do Grupo B2 também destacaram que gostaram da forma como os relatórios foram corrigidos. A seguinte transcrição demonstra isso:

Estudante 7: *Não sei porque eu demorei tanto tempo para descobrir. Eu achei que tu só entregava o negócio [referindo-se aos relatórios] com uma nota, como sempre foi na minha vida inteira. Cara, quando eu peguei aquilo ali pela primeira vez, eu olhei assim, lá pelo quarto relatório...*

Estudante 10: *Tu se sente melhor.*

Estudante 7: *Cara, eu me senti valorizado quando eu vi aquilo ali como nunca tinha acontecido antes. Eu vi assim: 'Bah, o cara analisou cada pedacinho'.*

Estudante 10: *Bom, o cara leu o que tu escreveu. Bobagem ou não, ele leu.*

Estudante 8: *Isso tem que elogiar muito, porque é uma análise toda sobre o que o aluno fez. E sempre para melhorar.*

Quando questionados sobre as discussões finais, os estudantes afirmaram que não compreendiam as apresentações dos colegas, mas que os debates travados sobre as suas investigações os ajudavam a entender melhor a atividade.

Estudante 10: *A melhor parte é a que a gente apresenta, da onde tu mais tira proveito é dos comentários dos professores, e a coisa que eu... [pausa] vou te ser sincero, eu não peguei nada. Não é que eu não entendi, é que eu não peguei nenhum pensamento deles, foi a apresentação do outro grupo [referindo-se ao Grupo B1]. E quando era dois, na época que eram três grupos também [referindo-se ao grupo de estudantes que evadiu da disciplina após o primeiro Episódio de Modelagem], não peguei nenhum dos outros dois.*

Estudante 8: *Eu notava que, pelo menos para mim, não era todo mundo que se empenhava.*

Estudante 10: *Se comprometia!*

Estudante 7: *A se empenhava muito, né?*

Estudante 9: *Eu vi mudanças claras desde o primeiro experimento. Pô, no primeiro experimento a gente chegou no acordo que usaria tabela [referindo-se ao que era exposto nos quadros brancos durante suas exposições nas discussões finais]. Depois a gente não têm mais tabela, só gráfico. Bota um resuminho... Foi mudando aos poucos.*

Assim como os estudantes dos grupos A1 e B1, dois dos estudantes do Grupo B2 também destacaram que não se sentiam à vontade para apresentar seus resultados nas discussões finais. Isso ficou evidente na transcrição abaixo:

Estudante 8: *Tinha o nervosismo na hora de apresentar.*

Estudante 10: *Eu não fico nervoso.*

Estudante 8: *Mas eu ficava. Para mim, eu ficava meio nervoso. Sei lá, falar uma besteira lá na frente, algo assim.*

Estudante 9: *É, eu também ficava meio nervoso. Eu gostei [das discussões finais] porque tu pegava o linguajar. Tu saber falar mais tecnicamente os termos. Isso eu gostei. Aí a questão do outro grupo, eu também não entendi. Mas eu estou vendo o meu lado. Eu não falei com eles, pedi a opinião deles sobre a nossa apresentação. Eu também, continuo com a minha opinião, eu não entendi nada [sobre a apresentação do Grupo B1]. Pode ser que eles também não tenham entendido nada. Não sei o lado deles, mas não quero dizer que são ruins.*

Quando questionados sobre as vantagens dos episódios de modelagem, os estudantes demonstraram que gostaram de trabalhar em grupo. O seguinte diálogo transcorreu:

Estudante 10: *A parte que eu achei mais legal em modelagem, e foi uma coisa que eu reconheço, foi o seguinte: foi a discussão de ideias. A discussão foi a melhor coisa. [...] Então, para mim, o trabalho em equipe, mas com pessoas interessadas, foi o melhor. Aprendi mais até do que a Física, mas, com esse trabalho, o meu aprendizado em Física também foi bom. E, com certeza, muito melhor do que o da folha de papel ali [apontando para um roteiro de uma atividade tradicional que estava em outra mesa da sala]. Eu tenho a prova. Eu fiz Física experimental I e dá para contar nos dedos as coisas que eu aprendi. Agora, aqui não. Aqui eu te digo, eu aprendi.*

Estudante 9: *Eu também. Eu gostei pelo fato da gente poder se reunir. Que nem, por exemplo, teve gente que já fez Física experimental II com outro professor, e aí eu falava para eles: 'Bah, eu não posso ir embora porque eu tenho que me reunir com os caras para discutir o experimento'. Aí eles diziam: 'Como discutir experimento, cara? Isso aí para mim é chegar lá, fazer em 15 minutos e ir embora'. Porque eles não tiveram essa experiência. Tu tem que discutir, tu tem que 'bater cabeça'... isso aí é bom! Agora, eu não gostei muito de no final apresentar, porque, para mim, eu estava apresentando para ti e para a [nome da professora] as ideias. Os outros, eu nem sei se absorveram alguma coisa. Mas, para mim, o objetivo era apresentar para vocês dois. Eu não me preocupava com o outro grupo. Só isso que eu não gostei muito.*

Estudante 8: *Eu tenho que dizer que, em termos de aprendizagem, penso a mesma coisa que foi dito. Aprendi também a trabalhar mais em grupo. Também a compartilhar ideias. Na questão de apresentação, também. No começo eu era mais fechado, né? Daí, na última apresentação, eu já me senti mais livre para apresentar ali. Até para vocês como para o outro grupo. Às vezes eu ficava até com um pouco de medo, né? Na questão de Física, né? Eu aprendi muita coisa que eu não tinha visto antes. Eu achei muito positivo.*

O Estudante 7 voltou ao assunto durante a entrevista. Ele disse:

Eu acho que, para mim, o mais radical foi aprender a trabalhar com outras pessoas. Antes eu não tinha essa capacidade. [...] Quando eu entrei pro grupo deles, daí a gente começou a se encontrar lá, eu comecei trabalhar com as pessoas, expor as minhas ideias. No final da cadeira, eu consegui expor as

minhas ideias muito melhor, porque eu tinha que explicar para eles, tanto minhas ideias de métodos experimentais, como minhas ideias de Física teórica. Isso foi o mais radical para mim. Depois, a aprendizagem física, eu acho que foi menor em relação a essas experiências humanas. Sei lá como tu queira chamar. Foi menor, mas acho que foi bem maior do que seria em uma cadeira tradicional. Com certeza. E o aprendizado de falar em público também foi bem valioso.

O Estudante 9 destacou ainda que apreciou a forma como os problemas eram apresentados nas atividades, partindo de um evento cotidiano para então se discutir o processo de modelagem.

Eu gostei da parte da explicação de, tipo, partindo de tal situação, tu chega na equação que a gente vai usar no experimento. Isso aí eu gostei. Essa parte por parte, explicando. Tá, tudo bem que pulou as equações diferenciais. É aceitável. Senão iria perder muito tempo explicando e ninguém sabe direito.

Os estudantes 7 e 8 manifestaram que concordam com o Estudante 10, pois também gostaram da problematização dos episódios de modelagem.

Quando questionados sobre o Episódio de Modelagem em que mais aprenderam, os estudantes relativizaram suas respostas, como é mostrado na transcrição abaixo.

Estudante 7: *Tem vários aspectos de aprendizagem, né? O aprendizado de trabalhar em grupo também, não tem como dar mais valor a um ou a outro [Episódio de Modelagem], porque todos foram mais ou menos o mesmo, né? O aprendizado de falar em público também foi ao longo do troço, então...*

Estudante 10: *Foi construído cronologicamente.*

Estudante 7: *Agora, em Física, foi o do Arquimedes.*

Estudante 10: *Na minha opinião, também. Foi, o que eu mais aprendi foi o do Arquimedes. O empuxo, para mim, antes era fórmula. [...] Em matéria de esforço, foi o último [referindo-se ao Episódio de Modelagem “Resfriamento de Sistemas]. E matéria de aprendizagem da teoria, foi o do Arquimedes.*

É interessante se analisar a opinião dos estudantes sobre a atividade “Experimento de Cavendish”, que foi realizada de forma tradicional, com base em um roteiro dirigido. Os estudantes 9 e 10 afirmaram que essa atividade foi a menos proveitosa da disciplina, enquanto que o Estudante 8 caracterizou ela como “*sensacional*”. A transcrição abaixo relata essas opiniões.

Estudante 8: *Eu acho que esse aí [o episódios de modelagem “Arquimedes e a Coroa do Rei”] foi o mais importante. [...] Para mim, dos experimentos que teve, a que não foi proveitosa foi a do Cavendish. [...] É que eu achei meio ligeiro, sabe? As outras tinha todo um desenvolvimento, uma coisa mais prolongada.*

Estudante 9: *O que eu não gostei foi o do Cavendish. Para mim, foi mais para aprender a usar o Tracker. Eu não tirei muito dele.*

Estudante 7: *Bah, o do Cavendish eu achei sensacional.*

Resumidamente, podemos dizer que os estudantes do Grupo B2 desenvolveram atitudes muito positivas em relação aos episódios de modelagem. Isso ocorreu principalmente em função: i) da liberdade que os estudantes dispunham para realizar as suas investigações; ii) do aprofundamento teórico sobre os conteúdos de Física que era exigido durante as atividades; e iii) das relações sociais colaborativas que ocorreram durante as investigações experimentais.

Considerações sobre as crenças e atitudes dos estudantes sobre os episódios de modelagem

As evidências coletadas na investigação possibilitam concluir que os estudantes desenvolveram atitudes positivas em relação aos episódios de modelagem. Todos os estudantes

manifestaram julgar que essas atividades são mais proveitosas do que as atividades experimentais tradicionais. Os principais fatores que contribuíram para que os estudantes construíssem atitudes favoráveis aos episódios de modelagem são as crenças de que essas atividades: i) possibilitam uma maior envolvimento com as investigações em função da liberdade que os estudantes tinham para tomar decisões; ii) possibilitam um preparo prévio para as investigações em função da realização das tarefas de leitura, evitando o desnorteamento durante as atividades; iii) vinculam os conteúdos científicos em eventos concretos, justificando a realização das investigações.

Cabe ressaltar aqui que seis dos estudantes relataram que demoraram para perceber que as correções dos seus relatórios era muito detalhada, com muitos comentários e sugestões realizados pela professora e pelo pesquisador. Esses alunos, assim que constataram o rigor das correções dos seus relatórios, passaram a valorizá-las, o que também contribuiu para que eles construíssem uma atitude positiva em relação aos episódios de modelagem.

Podemos dizer que a proposição teórica testada nesta questão de pesquisa foi parcialmente corroborada. Efetivamente, os episódios de modelagem contribuíram para que os estudantes construíssem atitudes mais positivas em relação a atividades experimentais. No entanto, analisando-se o item “i” da proposição teórica, o principal fator que contribuiu para que os estudantes não se sentissem desnorteados nas atividades não foi a implementação de guias de atividades ou do protocolo de avaliação. Ainda que eles tenham auxiliado alguns estudantes norteando suas ações, as tarefas de leitura foram mais importantes para tornar os estudantes seguros para tomarem suas decisões nas investigações, fazendo com que eles não se sentissem desnorteados. Já sobre o item “ii” da proposição teórica, podemos concluir que ele foi corroborado. Em todas as entrevistas realizadas, os estudantes destacaram que apreciavam a forma como os conteúdos científicos eram vinculados com eventos concretos durante os episódios de modelagem. Além disso, alguns estudantes destacaram que as atividades promoviam um maior aprofundamento sobre os conteúdos científicos envolvidos nos experimentos do que usualmente ocorre em atividades experimentais tradicionais.

8.5.2 Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam o domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica por parte dos estudantes?

Assim como no Estudo 2, investigamos o nível do domínio dos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica, avaliando a compreensão deles sobre diferentes conceitos e situações relacionadas com esse campo conceitual. Como já mencionamos, ainda que as proposições teóricas deste estudo sejam as mesmas do Estudo 2, o campo conceitual da modelagem didático-científica foi ampliado, como resultado do Estudo Teórico, englobando conceitos e situações específicos do fazer experimental. A primeira proposição teórica investigada é exposta abaixo.

Proposição teórica: Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes desenvolvam conhecimentos relacionados

com o campo conceitual da modelagem didático-científica, porque elas são frutíferas para dar sentido aos conceitos fundamentais do campo conceitual da modelagem didático-científica, possibilitando que os estudantes compartilhem significados para esses conceitos que sejam coerentes com as concepções epistemológicas contemporâneas.

Neste estudo, decidimos nos focar na análise das concepções dos participantes sobre três conceitos: modelo, teoria e experimento. Essa análise será exposta dividida em termos das unidades de análise do estudo, ou seja, em termos dos grupos de estudantes participantes da investigação.

Grupo A1

Os níveis de concordância dos estudantes do Grupo A1 com as afirmativas propostas no questionário respondido no início da disciplina demonstra que eles já compreendiam que os modelos não são cópias especulares da realidade antes de participarem dos episódios de modelagem. Por exemplo, todos os estudantes do grupo discordaram da afirmativa “Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos”. Apenas a Estudante 3 concordou com a afirmativa “Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade” no teste inicial. Além disso, a concordância dos três participantes do grupo com a afirmativa “Modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re)constrói” demonstra que eles entendiam que os modelos eram invenções construídas pelo homem.

Na discussão final do primeiro Episódio de Modelagem, os estudantes demonstraram entender que modelos são equações. A Estudante 2, por exemplo, evidenciou que entendia que o modelo newtoniano de pêndulo simples correspondia à equação que prediz o período de pêndulos. Ela disse:

O modelo teórico [usado em sua investigação] foi o modelo de pêndulo simples, né? Aqui não cabe fazer deduções [apontando para a equação do período no quadro branco]. [...] O modelo teórico do período é 2π vezes a raiz do comprimento sobre a aceleração da gravidade.

Da mesma forma, o Estudante 1, no seu relatório do Episódio de Modelagem “Pêndulos”, escreveu:

O modelo teórico de Pêndulo Simples considera tão somente o comprimento do fio e a gravidade local. [...] Podemos deduzir o modelo de Pêndulo Simples a partir do torque.

Quando afirma que o modelo de pêndulo simples considera “tão somente o comprimento do fio e a gravidade local”, o estudante demonstra entender que esse modelo se restringe à equação que prediz o período de pêndulos, evidenciando pensar que os modelos são equações. Isso é demonstrado também quando afirma que “podemos deduzir” o modelo.

É bem possível que as concepções dos estudantes 1 e 2, que já no início da disciplina entendiam que modelos são equações, tenham sido construídas no Ensino Médio e reforçadas nas disciplinas teóricas cursadas na universidade. As situações enfrentadas por esses estudantes nas

aulas de Física parecem tê-los feito entender modelos como um conjunto de equações utilizadas para resolver problemas de livros-texto.

Ainda que os estudantes tenham demonstrado já no teste inicial que compreendiam que modelos são representações simplificadas, pode-se identificar uma evolução das suas respostas no teste final. As estudantes 2 e 3, por exemplo, passaram a discordar fortemente da afirmativa “Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos”, com a qual elas apenas discordavam no início do curso. A Estudante 3 justificou sua resposta dizendo: “*Nos modelos científicos, nunca temos uma descrição exata do sistema físico, pois sempre fazemos simplificações*”.

Quando questionados em entrevista sobre os significados dos termos modelo e teoria, o Estudante 1 demonstrou, em um primeiro momento, apresentar uma concepção empirista-indutivista, conforme pode ser constatado na transcrição de uma de suas manifestações:

Teoria, não sei se eu vou estar falando de um jeito ‘chulo’ ou sei lá o que... [pausa] A teoria vem de um ciclo, né? De observação, aí tu observa um fenômeno, aí tu tenta fazer um modelo daquele fenômeno. Não é um modelo. Pera aí. [pausa] Constrói uma teoria e depois tu testa pra ver se aquilo ali é válido ou não. E entra em um ciclo daí, porque tu vai refinando o troço.

Discordando da concepção do Estudante 1, a Estudante 2 procurou corrigi-lo:

Mas a teoria vem antes da experimentação. E, no modelo, a gente desconsidera vários aspectos. Por exemplo, resistência do ar, atrito. O nosso modelo não tem atrito na mesa. O nosso modelo não tem resistência do ar. Mas existem teorias que consideram isso. Só que a gente não está considerando. O nosso modelo é uma coisa mais simplificada.

Quando afirma que a “*teoria vem antes da experimentação*”, a Estudante 2 demonstra que compreende que os experimentos são delineados com base em construções teóricas prévias, e que discorda da posição do Estudante 1, que argumentou que as teorias vêm “*da observação*”. Além disso, destacando que, hipoteticamente, “*o nosso modelo não tem resistência do ar*”, a estudante demonstra que o sentido atribuído por ela ao conceito de modelo é influenciado significativamente pelas situações que ela enfrentou no campo da mecânica, apesar de ela ter enfrentado diversos problemas na disciplina envolvendo modelos sobre fluidos e termodinâmica.

A continuação do diálogo dos estudantes mostra que o Estudante 1, influenciado pelas manifestações das suas colegas, notou que explicitava uma concepção inadequada sobre os conceitos de teoria e modelo. Destacando o caráter representacional dos modelos, ele disse:

Estudante 1: *O modelo vai da tua conveniência de querer analisar o fenômeno. Se é mais conveniente simplificar, tu tira algumas coisas, e aplica uma coisa simples ali. Se é mais conveniente...*

Estudante 2: *Até porque eu acho que a gente não tem condições de chegar direto no complexo. Então a gente tem que iniciar com modelos que são mais simples e depois ir evoluindo isso, acrescentando mais coisas, verificando o que modifica quando eu acrescento tal aspecto e deixando as coisas mais complexas.*

Estudante 3: *Sim. A gente tem um problema, a gente simplifica o problema, faz um modelo, o mais simples possível que tu consiga solucionar o problema que tu tem. Mas a teoria é bem mais complexa, eu acho. A teoria considera muita coisa que o modelo não considera. Um modelo é uma coisa simplificada que a gente utiliza para resolver um problema que a gente tem. Um problema determinado.*

Estudante 1: A teoria dá afirmações gerais, né?

A transcrição acima demonstra que os estudantes compreendem o caráter representacional dos modelos. Por outro lado, os estudantes demonstraram também compreender que as teorias poderiam fornecer representações completas da realidade. Com o intuito de esclarecer a concepção dos estudantes, foi solicitado que eles apresentassem um exemplo de uma teoria e outro de um modelo. O seguinte debate sucedeu essa solicitação.

Estudante 1: *Tá. Uma teoria: as leis de Newton. Ai, quando tu põe um carrinho no plano inclinado para ver, sei lá, qualquer coisa ali, aí tu tem que construir modelo para aquilo ali, que pode não ser exatamente como diz a teoria, vai que o plano tenha qualquer imperfeição ali ou, sei lá, tu pode acrescentar n outras variáveis ali naquele trilho que tu vai sair um pouco só do que diz aquela teoria.*

Estudante 2: *Tu pode considerar ou não o atrito. Tu pega um carrinho e empurra o carrinho. Ele vai andar um pouco até parar. Se eu não considerar o atrito nisso, nesse experimento, a gente vai considerar só o início da trajetória do carrinho, por exemplo. A gente não vai considerar até o final. Porque, se não tivesse atrito, ele iria continuar em movimento. Não sei se esse exemplo foi bom.*

Estudante 3: *Sim, eu acho que deu para ilustrar, porque no modelo tu vai escolher ele dependendo do que tu necessita. Na teoria está entrando tudo. Tu não pode mudar, mas no modelo tu escolhe ele segundo o que tu quer fazer, o que tu precisa para o problema.*

Alguns aspectos se destacam aqui. Primeiramente, o exemplo de modelo exposto pelo Estudante 1 demonstra que os estudantes compreendem que a construção de modelos implica na escolha de simplificações da realidade. Além disso, analisando os exemplos citados pelos estudantes 1 e 2, pode-se identificar novamente a relevância das situações enfrentadas no campo da mecânica para que os estudantes dessem sentido aos conceitos de modelo e de teoria. Isso demonstra o potencial das situações do campo conceitual da mecânica para possibilitar que os estudantes deem sentido aos conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica. Por fim, a manifestação da Estudante 3, que afirma que “na teoria está entrando tudo”, mostra novamente que os estudantes parecem entender que as teorias representam especularmente a realidade. No debate transcrito abaixo, o pesquisador procura explorar a concepção dos estudantes sobre o conceito de teoria.

Estudante 2: *As teorias podem ser bem mais amplas do que eu estou considerando no modelo.*

Pesquisador: *Tá, mas as teorias são completas?*

Estudante 2: *Não. Não necessariamente. Por exemplo, as leis de Newton não valem sempre. Ela não é completa. As teorias de Einstein complementam isso, mas também têm um certo domínio de validade.*

[...]

Pesquisador: *E por que a gente simplifica? Por que a gente não usa o modelo completo?*

Estudante 1: *Porque daí, eu não sei, na minha ideia, eu teria que construir uma teoria para cada caso.*

A manifestação do Estudante 1 demonstra que, apesar de ele entender que as teorias representam a realidade de forma completa, ele defende a concepção de que elas são gerais, e por isso não podemos usá-las para representar eventos específicos. Dessa forma, o estudante evidencia conceber que as teorias gerais não se manifestam diretamente sobre a realidade, e que modelos precisam ser construídos quando desejamos representar eventos reais.

Em outro momento da entrevista, o pesquisador voltou a questionar os estudantes se é possível se construir um modelo científico que represente especularmente a realidade. Todos os participantes imediatamente responderam que não. Abaixo, é transcrito o debate suscitado com a questão:

Estudante 3: *Acho que não [sobre a possibilidade de se construir um modelo sem a consideração de simplificações].*

Pesquisador: *Tu acha ou tem certeza?*

Estudante 3: *Ter certeza é uma coisa complicada.*

Estudante 1: *Eu tenho certeza que não.*

Estudante 3: *Eu não tenho certeza.*

Estudante 1: *Um modelo completo teria que considerar tudo do universo!*

Estudante 3: *Mas, pela coisa eu tenho visto, não de nós, mas dos doutorandos, os problemas que eles fazem, eles sempre fazem simplificações das coisas. Então, eles que estão já no patamar quase da Física, fazem simplificações. Então, não sei, não tenho visto alguém resolver um problema sem fazer nenhuma simplificação. Então, eu quase que tenho certeza que não pode.*

Estudante 2: *É. Eu acho que tenho certeza. Tá. Eu compartilho da ideia do [Estudante 1]. Eu tenho certeza.*

A manifestação da Estudante 3 demonstra que, ainda que ela tenha discordado fortemente da afirmativa “Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade” no teste final, ela ainda apresenta uma pequena dúvida sobre a possibilidade de se construir um modelo completo da realidade. Ainda assim, no teste final da disciplina, ela afirmou: “Ao construir um modelo científico, sempre realizamos simplificações da realidade”. Com a palavra “sempre”, a estudante demonstra conceber que, em hipótese alguma, é possível a construção de modelos que representem especularmente a realidade.

Questionados sobre as características dos modelos e das teorias, os estudantes demonstraram compreender que os modelos representam eventos específicos, e são construídos com base em teorias que, por sua vez, se pronunciam sobre classes de eventos. Tais concepções podem ser constatadas na transcrição abaixo.

Estudante 3: *Eu acho que um modelo específico é feito com base em uma teoria geral. Mas, como são validados...*

Estudante 1: *...experimentalmente!*

Estudante 2: *Isso depende do nosso objetivo. Depende do que eu quero estudar. Eu vou estudar alguma particularidade de uma teoria geral ou de uma teoria específica. Então o modelo é feito com base nessa teoria e a validade dela vai estar relacionada com a validade da teoria.*

A Estudante 2 destaca ainda que as teorias não são testadas em experimentos, mas os modelos que são. Ela diz:

É que, na verdade, quando a gente faz um experimento, a gente não testa a teoria. A gente não comprova a teoria e nem nada disso. A gente testa o modelo, não a teoria. O modelo é com base na teoria, mas o modelo tem algumas limitações, algumas restrições, algumas coisas que eu desconsidero, de acordo com o que eu quero analisar na teoria. [...] Mas o fenômeno seria esse caso específico da teoria que eu quero analisar. E para analisar esse caso específico, eu tenho um modelo. Então, o que eu vou testar é um modelo do caso específico da teoria.

Novamente, as declarações dos estudantes demonstram que eles têm clareza de que as teorias gerais não se manifestam diretamente sobre eventos reais, e que os modelos mediam as

relações entre teorias e realidade. Essas concepções sobre os conceitos de modelo e de teorias podem ser entendidas como o âmago do campo conceitual da modelagem didático-científica, e a compreensão delas é fundamental para que os estudantes relacionem teoria e prática nas situações enfrentadas em aulas de Física. Além disso, a manifestação da Estudante 2 demonstra que ela compreende que os experimentos científicos não possibilitam a comprovação de teorias científicas, pois eles são capazes de apenas contrastar modelos construídos com base em teorias gerais.

Possivelmente em consequência da compreensão de que os modelos representam eventos específicos, a Estudante 3 construiu a concepção de que os modelos científicos nunca podem ser generalizados para representarem outros eventos diferentes do evento para o qual eles foram concebidos. Ela, no final da disciplina, discordou da afirmativa “Um modelo científico pode passar a representar sistemas físicos completamente diferentes daquele para o qual foi inicialmente concebido” argumentando que *“um modelo é criado já com base no problema que se deseja responder, e por ser elaborado assim, só representa sistemas similares ao original”*.

Os estudantes foram também questionados se os modelos são validados por meio da experimentação. Suas respostas evidenciaram que eles entendem que a experimentação envolve eventos controlados, o que pode ser entendido como uma demonstração de que eles possuem uma concepção adequada sobre o conceito de “experimento”. O debate abaixo demonstra isso.

Estudante 2: *Não necessariamente. O meu trabalho de pesquisa é um cálculo de modelos de evolução estelar, só que não tem como experimentar uma estrela. E não necessariamente eu vou conseguir observar estrelas em todas as fases de um modelo. Então, nem sempre eu consigo experimentar para fazer com que o modelo... para saber se o modelo é coerente ou não. Por exemplo, nesse caso que eu estou trabalhando, eu tenho um modelo baseado em leis físicas. E eu tenho algumas observações que são comparadas ao modelo, mas tem algumas etapas da estrela que eu não tenho muitas observações, porque são etapas muito rápidas e eu não consigo achar uma observação exatamente daquela etapa. Então a gente imagina que seja assim, mas a gente não tem certeza.*

Estudante 1: *Pois é... Um experimento envolve condições controladas, né? Não é o caso da astronomia. Eles não tem como controlar: ‘agora essa fase para dar uma olhadinha’. Mas os dados que eles têm são dados empíricos, eles observam a coisa real ali. Eles observam o fenômeno, só não controlam.*

Estudante 2: *O que a gente faz no computador é um tipo de modelo.*

Estudante 3: *Mas nunca uma experiência só, uma vez só, uma experiência, vai validar um modelo.*

As declarações dos estudantes na transcrição acima demonstram que eles relacionam o conceito de experimento com o conceito de controle de variáveis, o que, do ponto de vista da expansão do campo conceitual da modelagem didático-científica realizada no Estudo Teórico, é uma relação pertinente. Percebe-se ainda que a Estudante 2 conclui que a simulação computacional não é propriamente um experimento, mas sim uma forma de emular um modelo teórico. Por fim, a manifestação final da Estudante 3, destacando que um único experimento não é capaz de validar um modelo, pode ser entendido como uma evolução em sua concepção de Ciência. No primeiro relatório produzido pela estudante na disciplina, sobre o episódio de modelagem “Pêndulos”, ela apresentou indícios de uma concepção empirista-indutivista, julgando que os seus experimentos comprovaram a teoria que ela utilizou. Ela disse:

Esse fato [referindo-se a um dado empírico coletado], conjuntamente com o resto dos nossos resultados, vem confirmar experimentalmente o panorama teórico conhecido do modelo (referencial teórico). [...] Em particular, foi comprovado o decaimento exponencial da amplitude de oscilação com o tempo.

Assim como na entrevista, a Estudante 3 voltou a demonstrar que evoluiu em sua concepção sobre a função dos experimentos científicos no teste final quando disse: “*A validade do modelo nunca depende da realização de um experimento único; até porque na realização do experimento há coisas que podem dar erradas*”.

Voltando a analisar a concepção dos estudantes sobre o conceito de “experimento”, pode-se constatar que os estudantes compreendem que os experimentos envolvem eventos controlados construídos com base em um modelo teórico de referência. Tal concepção pode ser evidenciada no seguinte debate.

Pesquisador: *Que cuidados eu tenho que ter quando estou montando esse arranjo? [referindo-se a um arranjo experimental]*

Estudante 2: *Isso tudo depende do modelo.*

Pesquisador: *Me explica melhor essa relação.*

Estudante 3: *Tu, com teu modelo, está considerando alguma coisa. Então tu tem que tentar, na hora de fazer o arranjo experimental, fazer com que essas coisas façam a mínima influência possível no experimento.*

Estudante 2: *Por exemplo, se eu tiver um pêndulo, e eu quero por esse pêndulo para oscilar. Eu não vou fazer isso ali na rua em um dia de vento. [...] Se eu desconsiderar o vento, eu tenho que ir para um lugar que tenha o mínimo vento possível. Naquele experimento de resfriamento de sistemas, se eu quero analisar o resfriamento de um sistema, eu tenho que tentar manter a temperatura da sala o mais constante possível. [...] Eu preciso controlar os fatores que eu considero no modelo.*

Estudante 1: *Como exemplo também que eu tenho, tipo assim, se eu tenho um pêndulo, eu vou tentar fazer que ele oscile só em um plano, né?*

Especialmente a partir da declaração da Estudante 3, pode-se inferir que os estudantes relacionam o conceito de delineamento investigativo com o de modelo teórico de referência, o que representa um avanço no domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica segundo a expansão proposta no Estudo Teórico. Corroborando isso, os três participantes, ao final da disciplina, concordaram com a afirmativa “*Todo experimento científico é delineado a partir de algum pressuposto teórico sobre o evento investigado*”. A Estudante 3 justificou dizendo que “*para poder realizar um experimento, sempre precisamos fazer sua modelagem, baseados na teoria que melhor o descreve*”.

Pode-se identificar ainda, principalmente na última manifestação transcrita da Estudante 2, que os estudantes relacionam com clareza os conceitos de controle de variáveis com o de modelo teórico de referência. Com o exemplo do experimento realizado com um pêndulo, a estudante demonstrou que a situação enfrentada no Episódio de Modelagem “Pêndulo” deu sentido para ela ao conceito de controle de variáveis como um procedimento delineado com base nas simplificações da realidade consideradas no modelo teórico de referência das investigações empíricas.

Evidenciando novamente que entenderam o processo de controle de variáveis, os três estudantes discordaram da afirmativa “*Um bom experimento de Física deve, em seu desenvolvimento, envolver um evento do mundo em seu estado natural, sem a influência de qualquer tipo de controle intencional do experimentador*”. A justificativa do Estudante 2 reflete a opinião dos três estudantes: “*Deve haver controle de acordo com as considerações iniciais do experimento*”.

Quando fala em “*considerações iniciais do experimento*”, o estudante procura destacar que o controle de variáveis é delineado com base nas simplificações da realidade consideradas no modelo teórico de referência.

Em decorrência da compreensão de que os experimentos envolvem eventos controlados, mas que esses eventos nunca corresponderão exatamente ao objeto-modelo idealizado no modelo teórico de referência do experimento, os estudantes foram capazes de explicar adequadamente os motivos pelos quais sempre existem desvios entre predições e evidências em investigações empíricas. O debate a seguir demonstra isso.

Pesquisador: *É possível que as predições e as evidências de uma investigação empírica coincidam perfeitamente?*

Estudante 2: *Não.*

Estudante 3: *Um modelo é sempre uma simplificação. Então, eu acho que não.*

Pesquisador: *Acha ou tem certeza?*

Estudante 3: *Não. Eu tenho certeza que não.*

Estudante 1: *É. Eu acho que não. Eu tenho certeza que a maioria absoluta das vezes vai ter. Mas eu estou pensando se existe um único caso que não.*

Pesquisador: *Por que eles não coincidem?*

Estudante 1: *Em função de todas as outras coisas do universo que a gente não está considerando. [pausa] O modelo teórico pode estar errado também. [pausa] O experimento pode ter sido feito errado.*

Estudante 2: *Porque os dados empíricos foram coletados com base em um modelo, e não na teoria. Claro que o modelo é embasado na teoria, mas o modelo tem simplificações.*

Estudante 1: *E tem as incertezas das medições.*

Estudante 3: *O experimento pode estar tudo bem, mas o instrumento que eu estou utilizando pode não estar bem calibrado ou ter algum problema.*

Essas manifestações demonstram que eles entendem que, no processo de contrastação empírica dos modelos científicos, é inevitável que existam diferenças entre predições e evidências. Corroborando tal conclusão, os três participantes discordaram da afirmativa “As diferenças entre os resultados previstos pelos modelos teóricos da Física e os resultados experimentais são decorrentes, exclusivamente, da imprecisão dos instrumentos de medida utilizados”. O Estudante 1 justificou dizendo: “*São incontáveis fatores que interferem num experimento*”. Já a Estudante 2 disse: “*Pode haver falta de consideração de alguma idealização*”. Esses dados demonstram que os estudantes possuem concepções adequadas sobre a contrastação empírica dos modelos científicos, o que é um conhecimento fundamental para que os estudantes dominem o campo conceitual da modelagem didático-científica expandido no Estudo Teórico.

Por outro lado, as estudantes 2 e 3 demonstram não compreender o papel dos modelos teóricos auxiliares na medições. Elas concordaram com a afirmativa “Os instrumentos de medida mais adequados são aqueles capazes de quantificar grandezas físicas diretamente, ou seja, são aqueles que não derivam as grandezas desejadas a partir da medida de outras grandezas relacionadas”. O Estudante 1, por sua vez, discordou da afirmativa dizendo que “*A maioria das grandezas físicas são derivadas de outras (as fundamentais)*”. Desse modo, apenas o Estudante 1 evidenciou compreender que os instrumentos de medida se amparam em modelos teóricos auxiliares que relacionam grandezas inobserváveis com dados observáveis, como foi estabelecido na estrutura conceitual de referência proposta no Estudo Teórico.

Resumidamente, podemos constatar que os estudantes do Grupo A1 compreendem que modelos são representações simplificadas de eventos reais específicos construídas com base em teorias que, por sua vez, se pronunciam sobre classes de eventos, ou seja, são gerais. Os experimentos, segundo os estudantes, compreendem eventos controlados delineados com base nas simplificações da realidade consideradas no modelo teórico de referência da investigação. Como as teorias não se manifestam sobre a realidade, os estudantes argumentam que, em experimento, testamos modelos, e não teorias. Esses resultados evidenciam que os estudantes dominam os conhecimentos predicativos do campo conceitual da modelagem didático-científica.

Grupo B1

A concordância dos estudantes 5 e 6 com a afirmativa “Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos” no início da disciplina evidencia que eles não tinham clareza sobre o caráter representacional dos modelos científicos. No final da disciplina, no entanto, os dois estudantes passaram a discordar da afirmativa, evidenciando que eles evoluíram em suas concepções sobre as características dos modelos científicos. A Estudante 4 já discordava da afirmativa no início da disciplina e manteve sua resposta no teste final. Ela justificou sua resposta dizendo: “*Modelos são apenas representações de sistemas físicos. Ao formular um modelo científico, as pessoas simplificam certos aspectos*”. Já o Estudante 6 disse: “*Uma série de simplificações são feitas ao desenvolver um modelo*”.

As manifestações dos estudantes na entrevista realizada ao final do curso demonstram que eles efetivamente compreenderam que modelos são representações simplificadas. Questionados sobre as características dos modelos científicos, eles disseram:

Estudante 6: *O que todos os modelos teriam, é que [...] nenhum está certo 100%, porque não considera...*

Pesquisador: *O que tu entende por ‘certo’?*

Estudante 6: *100% correto. Não considera tudo aquilo que realmente acontece.*

Estudante 4: *Preciso?*

Estudante 5: *É. Eu acho que trocaria por preciso. Eu acho que eles não são 100% precisos, mas eles explicam muito bem um fenômeno.*

Estudante 6: *Tá. Dá para por assim, então.*

No entanto, quando questionados sobre o que são teorias, os estudantes demonstraram entender que elas são descrições completas da realidade. O Estudante 6 disse: “*Tem que ser a descrição completa. Não pode ter simplificação. Ou é a tentativa completa da descrição*”. O pesquisador procurou explorar a concepção dos estudantes no debate transcrito abaixo:

Pesquisador: *Então uma teoria descreve completamente alguma coisa?*

Estudante 6: *Eu penso que sim.*

Pesquisador: *Então por que não usar uma teoria para descrever alguma coisa? Para que construir um modelo?*

Estudante 5: *Porque tu precisa de alguma coisa mais específica para construir uma determinada coisa.*

Estudante 6: *Eu penso que tu usa o modelo só pra pôr a teoria numa prova experimental.*

Duas concepções evidenciadas pelos estudantes se destacam aqui: i) as teorias não são suficientes para se representar eventos reais; e ii) os modelos são usados para se colocar teorias à prova. No que segue, passamos a debater sobre essas concepções.

Quando o Estudante 5 argumenta que é necessário “*alguma coisa mais específica para construir determinada coisa*”, transparece que esse estudante, assim como os do Grupo A1, entende que, além de completas, as teorias são gerais, e por isso somente os modelos representam eventos específicos. Corroborando tal constatação, o seguinte debate ocorreu:

Estudante 6: [Uma teoria é] *Uma tentativa de descrição de um fenômeno.*

Pesquisador: *As teorias são voltadas ao fenômeno, então?*

Estudante 4: *Não, os modelos são voltados ao fenômeno. Elas [as teorias] têm que ser gerais para um conjunto de fenômenos.*

Estudante 5: *Tá, e a gente descreve um modelo para uma coisa mais específica dentro daquele fenômeno, mas acaba sempre se baseando naquela teoria para descrever aquilo.*

Desse modo, ainda que, equivocadamente, os estudantes tenham demonstrado entender que as teorias são descrições completas, eles demonstraram compreender que os modelos são os mediadores entre teorias gerais e eventos específicos, o que é um conhecimento central do campo conceitual da modelagem didático-científica.

Outra concepção identificada nas manifestações dos estudantes é que modelos só têm sentido quando utilizados em investigações empíricas. Uma possível explicação para isso é que as únicas situações que deram sentido ao conceito de modelo para os estudantes foram enfrentadas nos episódios de modelagem, ou seja, em um contexto de investigação experimental. Destaca-se também que, quando o estudante afirma que os modelos servem “*pra por a teoria numa prova experimental*”, ele demonstra que acredita na possibilidade de prova definitiva de teorias por meio de experimentos, o que pode ser entendido como um indício de uma concepção epistemológica ingênua. Nos dois primeiros relatórios desse aluno, ele apresentou evidências desse pensamento. Por exemplo, no relatório da atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”, consta:

Os gráficos de um mesmo corpo suspenso em mesma mola oscilando em diferentes fluidos de diferentes viscosidades comprovaram tal hipótese [de que o amortecimento do sistema massa-mola é representado por uma curva exponencial] experimentalmente.

O expressão “*comprovam tal hipótese*” pode ser entendida como um indício de uma concepção epistemológica ingênua, em que acredita-se que as construções teóricas podem ser comprovadas definitivamente por meio da experimentação. A partir do terceiro relatório, o Estudante 6 não apresentou mais manifestações que evidenciam concepções dessa natureza.

Voltando a analisar as concepções dos estudantes sobre o termo modelo a Estudante 4 demonstrou, na seguinte manifestação, ter uma concepção madura sobre o processo de modelagem científica:

Uma coisa importante na modelagem é tu ter noção do que considerar também [...] O que tu vai desprezar, onde tu quer chegar também com a modelagem, eu acho. Tu vai modelar para achar um determinado resultado, tu pode talvez desprezar certas coisas. É importante tu analisar isso, né? Teu objeto de estudo.

Apesar de ter dificuldades em expressar seus conhecimentos predicativos, depreende-se de suas palavras que ela entende que os modelos são representações simplificadas construídas com foco em um objetivo específico. Ela foi, então, solicitada a apresentar um exemplo de um modelo. Sua resposta é transcrita abaixo.

Estudante 4: *Por exemplo, o resfriamento de Newton é considerado uma teoria?* [voltando-se para o pesquisador]

Pesquisador: *Não sei. O que vocês acham?* [dirigindo-se aos outros estudantes] *A lei de resfriamento de Newton é um modelo ou uma teoria?*

Estudante 4: *Eu acho que seria um modelo. Porque ela não descreve tudo, se for por esse pensamento de que o exemplo clássico de [inaudível].*

Estudante 6: *Porque é resfriamento sem evaporação. Se é um sólido tu pode aplicar e vai dar certo.*

Quando os estudantes 4 e 6 concordam que a lei de resfriamento de Newton é um modelo, eles evidenciam que o Episódio de Modelagem “Resfriamento de Sistemas” efetivamente os defrontou com situações que deram sentido ao conceito de modelo. O modelo de resfriamento de Newton foi mencionado também pela Estudante 4 quando ela justificou sua posição frente à seguinte afirmativa no questionário final: “É possível construir diversos modelos científicos para o mesmo sistema físico, mas somente um será aceitável”. Ela discordou da afirmativa argumentando: “Um exemplo é o modelo sobre resfriamento de sistemas de Newton, que não se leva em conta o efeito da evaporação, mas ainda é válido; mas podemos modificar um pouco este modelo”. Essa argumentação evidencia que, para a Estudante 4, as situações enfrentadas no Episódio de Modelagem “Resfriamento de Sistemas” deram sentido aos conceitos de domínio de validade e de expansão, que são dois conceitos importantes no campo conceitual da modelagem didático-científica. Já o Estudante 6, também discordando da citada afirmativa do questionário final, justificou dizendo: “Há vários modelos para pêndulos, cada um com sua vantagem”. Essa justificativa demonstra que também o Episódio de Modelagem “Pêndulos” foi importante para que os alunos dessem sentido ao conceito de domínio de validade.

Quando questionados sobre as características mais importantes dos experimentos científicos, os estudantes destacaram o controle de variáveis. A transcrição abaixo relata as respostas dos estudantes.

Estudante 4: *Controle sobre variáveis.*

Pesquisador: *O que mais?*

Estudante 5: *Controle sobre variáveis é um aspecto muito importante. Vem todas as considerações da realidade, idealizações, que a gente tem que assumir para construção de um experimento.*

Estudante 6: *Tu tem que montar o experimento e o processo de medição de acordo com a idealização. Se tu faz a idealização do atrito com o ar...*

Estudante 5: *...eu não posso ter um ventilador aqui na frente, né?*

Estudante 4: *No caso de desprezar o fio, por exemplo, tu não vai usar um fio... sei lá...*

Estudante 5: *...um fio de cobre.*

Estudante 4: *Um cadarço.. Sei lá.*

Estudante 5: *Tu vai usar o mais próximo possível das nossas idealizações.*

Estudante 4: *O experimento tem que estar de acordo com as tuas suposições. Sei lá. O que tu considera, o que desconsidera.*

Estudante 6: *É. Ele tem que estar de acordo com as considerações e desconsiderações do modelo. O experimento tem que estar de acordo com o que o modelo menosprezou. [...] Tem que ter um bom controle de variáveis.*

Nessa transcrição, os estudantes demonstram relacionar fortemente o conceito de experimento com o de controle de variáveis, o que é uma relação fundamental estabelecida na versão do campo conceitual da modelagem didático-científica proposta no Estudo Teórico. Com base nessa relação, os estudantes destacam que os experimentos são norteados por um modelo teórico de referência. Em especial, os experimentos são, para os estudantes, delineados com base nas simplificações da realidade consideradas no seu modelo de referência. Além disso, quando exemplificam suas concepções com um experimento com pêndulos, evidenciam que o Episódio de Modelagem “Pêndulos” os defrontou com situações que deram sentido aos conceitos de experimento e de controle de variáveis.

Corroborando essas ideias, os estudantes do Grupo B1, no questionário respondido no final da disciplina, discordaram da afirmativa “Um bom experimento de Física deve, em seu desenvolvimento, envolver um evento do mundo em seu estado natural, sem a influência de qualquer tipo de controle intencional do experimentador”. A Estudante 4, por exemplo, justificou sua resposta dizendo: “*Acredito que seja o contrário. Alguém que queira fazer um bom experimento deve controlar os parâmetros envolvidos de forma que se tenha uma certa equivalência com o modelo utilizado*”.

Em outro trecho da entrevista, os estudantes mostram entender as implicações do controle de variáveis sobre a contrastação empírica de modelos científicos. Perguntados se é possível que predições e evidências coincidam em uma investigação empírica, os estudantes foram taxativos em suas respostas, negando essa possibilidade. Os argumentos dos estudantes são transcritos abaixo.

Estudante 5: *Por causa de todas as idealizações que a gente fez ou do próprio material que a gente usou fazendo o experimento. Ele [o modelo teórico de referência] pode ser o mais próximo da realidade e ter um erro insignificante, e mesmo assim vai ter um erro.*

Estudante 6: *E o próprio fato de tu ter uma idealização no modelo e não é assim que acontece na realidade. Na realidade, tudo acontece.*

Estudante 5: *O próprio fato de tu idealizar alguma coisa, tu já está assumindo um erro.*

Os argumentos dos estudantes evidenciam que eles compreendem que as predições de uma investigação empírica estão relacionadas com as simplificações da realidade consideradas no seu modelo teórico de referência.

Em suma, podemos constatar que os estudantes do Grupo B1 apresentaram, ao final da disciplina, uma compreensão sobre os conceitos de modelo, teoria e experimentos bastante semelhantes com as concepções do Grupo A1. Eles também compreendem que modelos são representações simplificadas de eventos reais específicos construídas com base em teorias. No entanto, os estudantes do Grupo B1 evidenciaram adotar fortemente a concepção de que as teorias são descrições completas da realidade, o que os participantes do Grupo A1, ainda que tenham demonstrado compartilhar dessa ideia, não defendiam com a mesma veemência dos participantes do Grupo B1. Sobre os experimentos científicos, os estudantes demonstraram ter clareza do papel do controle de variáveis delineado com base no modelo teórico de referência da investigação.

Grupo B2

Três dos participantes do Grupo B2 demonstraram compreender o caráter representacional dos modelos científicos discordando da afirmativa “Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade” no questionário usado como teste inicial na investigação. O Estudante 8 concordou com a afirmativa. Mesmo assim, no final da disciplina, pode ser identificada uma evolução na concepção dos estudantes sobre o conceito de modelo. Todos os estudantes do grupo passaram a discordar fortemente da citada afirmativa no teste final, enquanto que, no teste inicial, os estudantes 7, 9 e 10 apenas discordavam dela. O Estudante 8, por exemplo, justificou sua resposta dizendo: “*Não, porque nos modelos são feitas simplificações da realidade, não sendo descrições fiéis de aspectos da realidade*”. Já o Estudante 10 afirmou que “*nenhum modelo é fiel à realidade*”. Esses dados demonstram que as situações enfrentadas pelos estudantes nos episódios de modelagem deram-lhes sentido ao conceito de modelo como uma representação simplificada da realidade. As manifestações dos estudantes em entrevista dão suporte para essa constatação.

Quando questionados os significados que atribuíam aos conceitos de modelo e de teorias, os estudantes começaram apresentando concepções confusas, mas o debate entre eles proporcionou um esclarecimento de suas ideias, como pode ser constatado nas transcrições a seguir.

Estudante 8: *Talvez eu vou falar uma besteira, mas modelo seria uma... como é que eu vou dizer? Seria uma coisa... [pausa] Teoria tu tem as evidências. Tipo assim: teoria do Big Bang. Tu tem as evidências pelas pesquisas feitas. Agora um modelo não seria uma ideia ainda sem ser comprovada?*

Estudante 10: *Para mim, modelo é a mesma coisa que um projeto para provar que alguma coisa existe na natureza. Para mim, um modelo é isso. [...] É um projeto que tu faz para provar que alguma coisa está acontecendo com base em teorias. Mas teorias do quê? Que alguém já provou que outras coisas relacionadas com essa que eu quero descobrir. [...] O próprio Cavendish. O cara fez um modelo, com base em n coisas, para provar que vários corpos interagem com vários corpos. Então ele pegou a teoria da gravidade lá e mais não sei o quê... eu não sei muito, porque eu só vi a fórmula. Eu não lembro das coisas. Mas para mim é isso, sabe? Pegou a teoria de ação e reação do Newton, por exemplo, que deve ter pego, eu não sei se pegou. Eu estou falando alguma bobagem, mas eu estou tentando expressar meu pensamento.*

Percebe-se que o Estudante 8, nesta fase da entrevista, demonstra entender que os modelos são hipóteses não testadas, e que teorias são ideias corroboradas por dados empíricos. A manifestação do Estudante 10, ainda que demonstre que o estudante não tinha clareza sobre os conceitos explicados, traz à discussão o processo de construção de modelos com base em teorias, suscitando o seguinte debate.

Estudante 8: [Modelo] *Seria uma ideia baseada em várias teorias?*

Estudante 10: *É! Para mim, modelo tu junta várias ideias para descobrir algo que todas as ideias têm em comum.*

Estudante 9: *Para mim, teoria é a parte das ideias. Tu tenta, tu discute, tu vê um fenômeno e tu discute. Tu tenta entender com ele, começa a criar ideias sobre ele. E aí depois tu faz um modelo que seria a simplificação daquele fenômeno. É algo que tu... é algo simplificado mesmo. Tipo, tu ignora algumas coisas, mas, tipo, vai acontecer... tipo, o fenômeno vai ser parecido com esse modelo. Não é totalmente certo, mas vai ser algo parecido. É simplificado, tu ignora algumas coisas. [...] Teoria, o princípio de Arquimedes seria um bom exemplo de teoria, porque é praticamente só teoria. [...] O pêndulo é um ótimo*

exemplo de modelo. É algo simples, mas prevê. Pode ser uma bola gigante em um prédio, mas o movimento vai ser parecido.

Mesmo apresentando indícios de compreender que os modelos científicos são representações simplificadas construídas com base em teorias gerais, as manifestações dos estudantes se mostravam confusas, evidenciando insegurança e dificuldades na expressão de seus conhecimentos predicativos. Porém, pode-se constatar que o Estudante 9 tinha clareza do caráter representacional dos modelos científicos. Quando manifesta que “o pêndulo é um ótimo exemplo de modelo”, o estudante se refere ao modelo de pêndulo simples, e evidencia que o Episódio de Modelagem “Pêndulos” lhe proporcionou situações que deram sentido ao conceito de modelo. No entanto, ele demonstra não compreender o conceito de teoria quando exemplifica-o com o princípio de Arquimedes, que, como foi ressaltado veementemente nas aulas da disciplina, não é um princípio, mas sim uma construção teórica derivada de teorias gerais.

A manifestação do Estudante 7, que é transcrita abaixo, modifica significativamente o debate dos estudantes, que passaram a ter mais clareza de suas concepções.

Estudante 7: [Teoria] *É uma estruturação de um raciocínio que é geral, para começar. Ela é geral porque ela se aplica não à fenômenos específicos, mas, ao que eu vejo, as teorias físicas tentam explicar diversos fenômenos e tentam achar a essência deles e dizer: ‘ah, é a partir daqui que as coisas acontecem’. Ela é geral, mas o que deixa uma teoria boa não é o quão geral ela é, mas sim o quão específica ela consegue ser na sua generalidade. Então, a teoria de Newton, por exemplo, ela é geral no sentido que ela aborda os fenômenos interplanetários e ela aborda, se eu jogar aqui uma moedinha para cima e pegar ela, eu vou conseguir prever os resultados disso. Ela consegue ser extremamente específica tanto nos movimentos planetários quanto no jogar a moedinha.*

Pesquisador: *Quando tu fala em específico...*

Estudante 7: *...é no sentido de precisão.*

Pesquisador: *Ok.*

Estudante 7: *Então ela é geral porque ela explica coisas aparentemente diversas, e ela é valorosa porque ela consegue ser específica em sua generalidade. [...] E o modelo seria uma utilização da teoria. Se tu quer usar para explicar a moeda, quando tu quer usar para explicar os planetas, tu não vai considerar todas as estrelas do universo. Tu vai usar o modelo de sistema solar. Agora, se tu quer descrever o modelo da Terra e do Sol, talvez eu possa desprezar os outros planetas. Aí tu vai começar a ter o modelo. Tu descreve aquilo que tu quer. No caso da Terra e do Sol, aí eu desprezo os outros planetas, e se eu quero incrementar o modelo, aí, quem sabe, eu coloco Marte ali. Ou quem sabe eu deixo de considerar a Terra um ponto, e coloco uma esfera ali. Aí ela tem momento de inércia, e começo a incrementar. Isso para mim é um modelo: é uma utilização da teoria.*

Fica notório que o Estudante 7 entende que os modelos científicos são construídos com base em teorias gerais, e que os modelos científicos implicam em simplificações da realidade. Como pode ser observado na transcrição abaixo, os estudantes 9 e 10 demonstraram concordar com o Estudante 7, enquanto que o Estudante 8 percebeu que sua manifestação anterior, em que eles argumentavam que modelos são hipóteses não testadas e que teorias são ideias corroboradas, era equivocada.

Estudante 9: *É. Ficou bem melhor explicado do que a gente.*

Estudante 10: *É praticamente o que eu disse em palavras mais bonitas.*

Estudante 8: *O que eu falei sobre modelo estava tudo errado. Acho que o que eu disse estava mais para hipótese, e não para modelo. O meu estava tudo errado. Eu concordo com o que o [Estudante 7] falou.*

Baseados nas observações do Estudante 7, os estudantes 8, 9 e 10 passaram a repensar suas concepções, como pode ser constatado no seguinte debate:

Estudante 10: *Eu acho que o modelo é aquela coisa, que nem eu disse, é aquele específico. É um caso específico. É uma coisa que tu tira um, bota outro... Mas tu tira e bota como? Trabalhando com teorias. Com coisas gerais. Mas nesse geral todo, tu vai pegando um geralzinho ali, um geralzinho lá. Aí tu vê se vai dar certo. Se para ti deu certo, beleza. Tu tem um modelo.*

Estudante 9: *Um modelo se resume em simplicidade. [...] É que nem ele falou [referindo-se ao Estudante 7]. Tem muita coisa acontecendo ao mesmo tempo. Daí como é que tu vai conseguir explicar isso que está acontecendo? Aí tu ignora todo o resto, foca só naquilo ali que tu quer trabalhar, daí tu está simplificando.*

Estudante 7: *A teoria é uma coisa geral e o modelo é uma coisa simplificada.*

As manifestações acima demonstram que os estudantes desenvolveram durante a disciplina a concepção de que os modelos são representações simplificadas de eventos específicos, e que teorias são ideias gerais. Cabe destacar que, no início da disciplina, os estudantes apresentaram respostas ao questionário inicial que evidenciaram que eles entendiam que o termo “simplificação da realidade” se referia à construção de modelos físicos para representar eventos reais. Em uma questão que envolvia uma investigação sobre o atropelamento de uma criança por um automóvel, os estudantes foram questionados se precisariam considerar alguma simplificação da realidade no modelo utilizado na investigação. Os estudantes 8, 9 e 10 afirmaram que simplificariam o evento investigado considerando o automóvel como um bloco e a estrada como uma mesa. O Estudante 9, por exemplo, disse: “*Eu simplificaria representando o carro por um bloco e a estrada como uma mesa*”. Desse modo, pode-se constatar que foram os episódios de modelagem que deram sentido para os estudantes ao conceito de simplificação da realidade como uma idealização considerada no processo de modelagem científica.

Ainda que tenham compreendido que os modelos são representações simplificadas construídas com base em teorias, as transcrições abaixo demonstram que os estudantes entendem que as teorias se pronunciam diretamente sobre eventos reais, o que, do ponto de vista do domínio do conhecimento predicativo do campo conceitual da modelagem didático-científica, pode ser entendido como uma deficiência significativa.

Estudante 10: *A teoria [é usada] para explicar um fenômeno de um modo geral. E um modelo para explicar o mesmo fenômeno de uma forma mais simples.*

Estudante 7: *A teoria [é usada] para explicar vários fenômenos de uma maneira unificada, e um modelo para pensar sobre esses fenômenos usando a teoria.*

Estudante 9: *Para mim, a teoria é tu tentar... tu organiza todas as ideias que tu teve a respeito de um fenômeno e tu explica de... e tu tenta organizar elas de uma maneira clara para explicar... não sei se eu posso dizer vários fenômenos. Não sei se é o correto. É porque eu não sei se é uma teoria para vários fenômenos ou uma teoria para cada fenômeno. [...] Um modelo, eu não consigo pensar outra coisa senão simplicidade.*

Questionados sobre a validação de teorias científicas, os estudantes demonstraram compreender que um único experimento não é capaz de validar uma teoria, o que pode ser observado na seguinte transcrição. Foi perguntado aos estudantes sobre quando podemos dizer que uma teoria foi corroborada.

Estudante 10: *Quando os resultados com base numa teoria estão ‘batendo’.*

Estudante 8: *Mas não só num experimento, né?*

Os estudantes destacaram também que os experimentos científicos são construídos com base em um modelo teórico de referência. O Estudante 7, por exemplo, disse:

Aí tu tem um modelo teórico. Aí tu tem, eu não sei, uma maquete? Não sei como explicar. Tu tem alguma coisa que é física, real. E tu também faz simplificações, tu tenta isolar as coisas do modelo que tu não quer, fatores externos. E tu tenta tirar as coisas que não entraram no teu modelo. Então tu tem que ser condizente com o teu modelo.

Compartilhando da concepção do Estudante 7, os quatro estudantes do Grupo B2 demonstraram compreender que os experimentos científicos são delineados em ambientes controlados. Eles discordaram da afirmativa “Um bom experimento de Física deve, em seu desenvolvimento, envolver um evento do mundo em seu estado natural, sem a influência de qualquer tipo de controle intencional do experimentador”. O Estudante 9, por exemplo, justificou sua discordância argumentando que “o controle de variáveis serve para obter uma resposta próxima do esperado pelo modelo”. Os estudantes demonstraram com isso relacionar os conceitos de experimento com o de modelo teórico de referência, evidenciando domínio do conhecimento predicativo da versão expandida do campo conceitual da modelagem didático-científica proposta no Estudo Teórico.

Outro dado que evidencia que os estudantes compreendem a influência de ideias prévias no delineamento de experimento é a discordância dos estudantes 7, 8 e 10 da afirmativa “Para o desenvolvimento de um experimento científico, o cientista deve abster-se de ideias prévias”. O Estudante 10 justificou sua resposta dizendo: “Se não tiver ideias prévias, como saberá o que vai analisar?”. O Estudante 9 se mostrou indeciso em sua resposta, argumentando não compreender o que é que se quer dizer com “ideias prévias”.

Questionados sobre a possibilidade de que predições e evidências coincidam em uma contrastação empírica, os estudantes destacaram a necessidade de se comparar a incerteza das predições e das evidências.

Estudante 9: *Tipo, tem um resultado, mas o problema é a incerteza. Não vai ficar algo exato, vai ficar algo por volta daquele valor achado teoricamente.*

Estudante 10: *Mas quando tu faz uma predição, tu já está pensando nos erros [referindo-se às incertezas], nessas diferenças. Se está no intervalo, eu posso sair muito satisfeito.*

Estudante 8: *Eu acho que é como o [Estudante 10] falou: eu tenho que considerar a incerteza.*

O Estudante 7 destacou também que, ainda que os experimentos sejam controlados, eles nunca refletirão o evento simplificado nos modelos teóricos. A transcrição abaixo relata o debate realizado quando os estudantes foram solicitados a explicar os desvios entre predições e evidências em experimentos científicos.

Estudante 10: *Tem a imprecisão dos aparelhos.*

Estudante 8: *As simplificações da realidade que tu considerou.*

Estudante 7: *Tu nunca consegue fazer a realidade ser igual ao teu modelo, né?*

A manifestação do Estudante 7 evidencia uma evolução em sua concepção sobre o conceito de contrastação empírica. Na discussão final do Episódio de Modelagem “Pêndulos”, o estudante demonstrou acreditar que é possível que previsões e evidências coincidam em algumas investigações empíricas, como pode ser observado na transcrição abaixo.

Pesquisador: *Tu tem esperança de que em algum caso as tuas previsões do modelo teórico batam com teus dados experimentais?*

Estudante 7: *Não usando essa teoria aí.*

Pesquisador: *Mas em algum caso aconteceria isso?*

Estudante 7: *Batam exatamente?*

Pesquisador: *Exatamente!*

Estudante 7: *Acho que se tu usasse uma modelagem numérica muito f... ali, que não fosse uma coisa analítica, daí talvez sim.*

Pesquisador: *O que os outros acham sobre isso?*

Estudante 10: *Eu falei que tu não tem como aproximar da realidade nada. Foi o que eu te falei.*

Estudante 7: [interrompendo o colega] *Não! Exatamente, claro que não! Mas um erro muito pequeno, um dez na menos oito lá da vida, acho que seria possível.*

Pesquisador: *E essa diferença seria em função do que?*

Estudante 7: *Em função das coisas que tu não tem nenhum controle. Por exemplo, tu nunca vai poder modelar todos os átomos do sistema, tu nunca vai poder considerar todos os graus de liberdade do que está acontecendo. Alguma coisa vai ficar de fora. Até do equipamento que tu está medindo. Daí vem o erro.*

Há evidências, portanto, de que as situações enfrentadas pelos estudantes nos episódios de modelagem deram sentido ao conceito de contrastação empírica como um processo influenciado pelas simplificações da realidade consideradas no modelo teórico que dá suporte às previsões contrastadas. A transcrição acima pode ser entendida também como um exemplo dos diversos debates sobre o processo de modelagem científica que foram conduzidos durante os episódios de modelagem. Outro exemplo de debate que ocorreu na atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo” iniciou quando o Estudante 10 evidenciou acreditar que os modelos científicos são construídos com base em dados experimentais. Ele disse:

Conforme os pontos que tu tem, daí tu vê: se parece com alguma coisa. Daí tem ali [referindo-se às opções de ajuste de curva presentes no software Excel]: linear, logarítmica, exponencial. Ah, vou por exponencial, vou pegar essa aqui então. Aí ele vai e mostra.

Com sua manifestação o estudante exprime uma concepção empirista-indutivista de que os dados experimentais definem o modelo utilizado para descrever um conjunto de dados. Em função dessa manifestação, foi realizado um debate sobre como os modelos teóricos dirigem a análise de dados em experimentos científicos. Outro debate suscitado por uma manifestação do Estudante 10 ocorreu na discussão final do Episódio de Modelagem “Pêndulos”. Ele disse que “*tem um teta [amplitude de um pêndulo] que vai ter uma variação máxima de 5% do valor desse período [referindo-se ao desvio entre o período efetivamente medido de um pêndulo e uma previsão construída por meio do modelo de pêndulo simples]. Se for mais, daí extrapola [referindo-se ao valor aceitável para o uso do modelo explorado]*”. O estudante demonstrou com essa manifestação entender que o domínio de validade de um modelo teórico é estabelecido por valores bem definidos, o que é um equívoco

epistemológico. Em função disso, a professora realizou um debate sobre os limites dos domínios de validade dos modelos científicos.

Entendendo que os modelos representam eventos específicos com base em teorias gerais, os quatro estudantes concordaram com a afirmação “Modelos são imprescindíveis no processo de validação de teorias gerais”. O Estudante 7 justificou sua concordância dizendo: “*Modelo é a aplicação da teoria, então sim*”. Já o Estudante 8 disse: “*Modelos são muito importantes porque é a partir deles que teorias científicas são confirmadas*”. Desse modo, os estudantes evidenciam novamente relacionar o conceito de experimento com o de modelo teórico de referência.

Resumidamente, podemos dizer que os estudantes do Grupo B2 entendem que modelos são representações simplificadas construídas com base em teorias gerais. No entanto, os estudantes demonstraram conceber que teorias se pronunciam diretamente sobre a realidade. Quanto ao significado atribuído pelos estudantes ao termo experimento, eles demonstraram compreender que os experimentos são controlados e delineados com base em um modelo teórico de referência, e que as diferenças entre predições e evidências são inevitáveis em investigações empíricas.

Considerações sobre as concepções dos estudantes sobre os conceitos de modelo, teoria e modelagem

As evidências coletadas demonstraram que os estudantes terminaram a disciplina com segurança sobre suas concepções sobre os conceitos de modelo, teoria e experimento. Generalizando, podemos dizer que os estudantes compreendem que:

- Modelos são representações simplificadas da realidade construídos com base em teorias;
- Teorias são descrições gerais e completas da realidade;
- Experimentos são realizados em meios controlados e são norteados por um modelo de referência.

Analisando-se com mais profundidade o significado atribuído pelos estudantes aos conceitos especificamente relacionados com o trabalho experimental que foram estabelecidos no campo conceitual da modelagem didático-científica no Estudo Teórico, pode-se constatar que, em sua maioria, os estudantes efetivamente construíram relações claras entre os conceitos de experimento, controle de variáveis, delineamento experimental, contrastação empírica, predição e evidência. Resumidamente, as relações que os estudantes demonstraram estabelecer são:

- O *delineamento experimental* é realizado de modo que o arranjo experimental utilizado reflita da forma mais fidedigna possível o evento simplificado considerado no *modelo teórico de referência* da investigação;
- *Experimentos* envolvem o *controle de variáveis* realizado com o intuito de minimizar os fatores desprezados no *modelo teórico de referência* da investigação;
- Diferenças entre *predições* e *evidências* são inevitáveis em função das simplificações da realidade consideradas no *modelo teórico de referência* das investigações que, apesar do *controle de variáveis*, não são perfeitamente respeitadas nos *experimentos* científicos.

Ainda que não tenhamos avaliado aqui todas as relações propostas na estrutura conceitual de referência expandida no Estudo Teórico, podemos identificar evidências de que os estudantes apresentaram um domínio satisfatório dos principais conhecimentos predicativos do campo conceitual da modelagem didático-científica. Em especial, eles construíram uma concepção bastante clara de um aspecto fundamental relacionado com o fazer experimental: as teorias NÃO são descobertas com base em experimentos, mas sim os experimentos são delineados com base em pressupostos teóricos previamente construídos. Especificamente, pode-se constatar que os episódios de modelagem possibilitaram que os estudantes compreendessem como os modelos teóricos influenciam no delineamento de experimentos, tornando evidente que os cientistas não prescindem de ideias prévias em investigações empíricas.

As duas principais deficiências identificadas nas concepções de alguns estudantes referem-se ao significado atribuído por eles para o conceito de teoria. Os estudantes dos grupos A1 e B1 apresentaram indícios de que compreendem que as teorias científicas são descrições completas da realidade. Já os estudantes do Grupo B2 demonstraram entender que as teorias se pronunciam sobre eventos específicos da realidade.

Ainda assim, apesar das dessas deficiências nas concepções dos estudantes, podemos dizer que a proposição teórica testada, em que julgávamos que os episódios de modelagem possibilitariam que os estudantes compartilhassem significados coerentes com as concepções epistemológicas contemporâneas sobre conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica, foi corroborada.

No que segue, passamos a apresentar os dados coletados relacionados com a segunda proposição teórica desta questão de pesquisa, que é exposta abaixo

Proposições teóricas: Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica contribuem para que os estudantes desenvolvam conhecimentos relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica, porque elas são frutíferas para defrontar os estudantes com situações que envolvem conceitos e esquemas de ação relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica.

Assim como no Estudo 2, a análise dos avanços e das dificuldades dos estudantes em enfrentarem situações do campo conceitual da modelagem didático-científica terá como ponto de partida a avaliação dos seus relatórios que, neste estudo, foi realizada por meio do protocolo de avaliação exposto no Apêndice N.

Grupo A1

Na Tabela 8.2, são sintetizadas as médias das avaliações dos relatórios confeccionados pelos estudantes do Grupo A1 em função dos itens do protocolo de avaliação exposto no Apêndice N. As apreciações desses itens foram computadas por meio das médias das avaliações dos subitens do protocolo. Essas avaliações foram normalizadas para valores entre 0 e 10.

Tabela 8.2 – Avaliações dos relatórios confeccionados pelos componentes do Grupo A1 sobre os episódios de modelagem conduzidos no Estudo 3.

<i>Episódio de Modelagem</i>	<i>Objetivo da Atividade</i>	<i>Referencial Teórico</i>	<i>Procedimento Experimental</i>	<i>Apresentação e Análise dos Dados Experimentais</i>	<i>Conclusões</i>	<i>Médias</i>
<i>Pêndulos</i>	9,2	7,5	9,0	6,0	6,7	7,7
<i>Sistema de Amortecimento Automotivo</i>	10,0	8,8	8,7	7,5	8,3	8,7
<i>Arquimedes e a Coroa do Rei</i>	10,0	5,0	8,7	7,7	8,9	8,1
<i>Resfriamento de Sistemas</i>	10,0	9,2	6,7	4,6	7,8	7,6

A análise da Tabela 8.2 nos possibilita concluir que os relatórios dos estudantes do Grupo A1 foram confeccionados com boa qualidade. Eles demonstraram ser capazes de explicitar com clareza seus objetivos, o delineamento de suas investigações, e as conclusões alcançadas. Por exemplo, em todos os 12 relatórios produzidos, os estudantes apresentaram os seus objetivos relacionando-os com um modelo teórico de referência. Nos relatórios produzidos no Episódio de Modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”, por exemplo, os estudantes realizaram uma apresentação introdutória do modelo teórico de sistema massa-mola para então apresentarem seus objetivos fazendo referência às grandezas estabelecidas nesse modelo. A Estudante 3 apresentou seu objetivo na atividade dizendo: “*Neste trabalho de laboratório temos como objetivo estudar os efeitos da força de arrasto sobre o movimento oscilatório de um sistema massa-mola*”. Esses resultados evidenciam que os estudantes desenvolveram esquemas de ação para enfrentarem situações em que precisavam traçar objetivos e delinear experimentos com base em um modelo teórico de referência, assim como desenvolveram esquemas para construir conclusões baseados na contrastação de predições e evidências. Ou seja, houve um avanço dos estudantes no domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica.

Em relação aos referenciais teóricos apresentados pelos estudantes em seus relatórios, a maior deficiência foi detectada nas exposições dos modelos utilizados na atividade “Arquimedes e a Coroa do Rei”. Nos relatórios produzidos nesse Episódio de Modelagem, os três participantes apresentaram as simplificações da realidade consideradas sem relacioná-las com a construção do modelo utilizado. O Estudante 1, por exemplo, deduziu as equações utilizadas na sua investigação sem explicitar as implicações das simplificações da realidade nessa dedução. Esses resultados demonstram que, ainda que os estudantes entendam que modelos são construídos com base em simplificações da realidade, implementar essas simplificações na construção de modelos teóricos exige o uso de esquemas de ação complexos dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica que os estudantes não conseguiram mobilizar nos episódios de modelagem.

Ainda em relação aos relatórios do Episódio de Modelagem “Arquimedes e a Coroa do Rei”, identificou-se no relatório da Estudante 2 um erro conceitual quando ela afirma que um dinamômetro mede a força resultante sobre um corpo suspenso nele quando esse corpo é imerso em um líquido. Nesses relatórios, apenas a Estudante 2 utilizou uma ferramenta de representação pictórica para expor as forças que agem sobre o corpo suspenso no dinamômetro. Nesse sentido, destaca-se também que, nos relatórios da atividade “Sistema de Amortecimentos Automotivo”, os estudantes 1 e 3 procuram usar figuras pictóricas para representar o sistema investigado, mas, nessas figuras, os dois estudantes não apresentaram o referencial em relação ao qual foram realizadas as medidas de posição dos sistemas investigados. Esses dados evidenciam as dificuldades dos estudantes para utilizarem ferramentas de representação, o que também foi demonstrado em suas respostas ao questionário respondido ao final da disciplina. Quando questionados se existiria alguma representação que seria útil para facilitar o entendimento dos seus raciocínio para resolver um dos problemas propostos, os estudantes 1 e 2 deixaram a questão em branco, enquanto que a Estudante 3 apenas desenhou os objetos envolvidos no problema, o que era uma representação pouco útil para se compreender o modelo proposto por ela.

Com o questionário aplicado como teste inicial e final, pode-se identificar ainda avanços na capacidade dos estudantes de explicitar as simplificações e os objetos da realidade considerados nos modelos utilizados. Em uma das questões propostas, os estudantes deveriam expor um modelo teórico para avaliar a velocidade de um automóvel em um atropelamento antes de o motorista acionar o freio do carro. No teste inicial, os estudantes 1 e 3 sugeriram, adequadamente, o uso do modelo de movimento retilíneo uniformemente variado para resolver o problema. No entanto, os dois estudantes não foram capazes de expor as simplificações da realidade consideradas nesse modelo. A Estudante 3, por exemplo, quando questionada sobre as simplificações que precisaria considerar, disse: “*Eu preciso pensar que no final da frenagem o carro se detém*”. Essa simplificação, no entanto, não é necessária frente ao problema proposto. Nesse mesmo problema, foi identificada ainda, no início da disciplina, uma dificuldade dos estudantes 1 e 2 para explicitarem os objetos da realidade considerados nos seus modelos. A Estudante 2, por exemplo, afirmou que os objetos considerados por ela foram: “*Tempo de reação, material da estrada, clima chuvoso ou seco*”. A estudante demonstra assim confundir objetos da realidade com grandezas utilizadas no seu modelo como, por exemplo, o “*tempo de reação*”. Nota-se que os estudantes, no início da disciplina, tinham dificuldade para enfrentar situações em que precisavam decidir quais dos seus traços-chave apreender, e delimitar os objetos que compõem o sistema físico e sua vizinhança, que serão alvo de representação.

No teste final, para resolver o problema envolvendo o atropelamento, os três estudantes propuseram o uso do modelo de movimento retilíneo uniformemente variado. Nesse caso, evidenciando terem evoluído em suas compreensões sobre o processo de modelagem científica, os três estudantes foram capazes de apresentar as simplificações da realidade consideradas no modelo utilizado. A Estudante 3, por exemplo, disse: “*Precisaria supor que o automóvel se movimentou numa trajetória retilínea e que a sua aceleração no trajeto de frenagem foi sempre constante*”. No entanto,

os estudantes 1 e 2 apresentaram mais simplificações do que efetivamente consideraram nos seus modelos. O Estudante 2, por exemplo, usando o modelo de movimento retilíneo uniformemente variado, disse: “Os corpos envolvidos, vítima e carro, seriam considerados massas pontuais. A aceleração do veículo até parar seria constante e o movimento seria um MRUV”. No modelo utilizados pelo aluno, não há necessidade de se considerar os corpos envolvidos como pontuais. Ainda que tenham apresentado dificuldades, os estudantes demonstraram ter desenvolvido esquemas de ação que possibilitaram que eles escolham simplificações da realidade adequadas para enfrentar a situação proposta na questão, o que pode ser entendido como um avanço no campo conceitual da modelagem didático-científica.

Os estudantes demonstraram ainda, no questionário respondido ao final da disciplina, ter compreendido a distinção entre objetos da realidade e grandezas utilizadas para representar suas propriedades em modelos científicos. Por exemplo, perguntada sobre os objetos da realidade considerados no modelo utilizado para resolver o problema do atropelamento, a Estudante 2, que utilizou o modelo de movimento retilíneo uniformemente variado, disse: “No modelo foi considerado o carro e a estrada sem atrito”. Ainda que tenha afirmado que a estrada não tinha atrito, o que efetivamente não foi considerado no modelo utilizado, a estudante não citou grandezas físicas em sua resposta, evidenciando compreender a diferença entre propriedades físicas e objetos da realidade. Os estudantes demonstraram assim terem evoluído em suas competências para delimitar os objetos que são alvo de uma representação.

Em relação à exposição dos procedimentos experimentais nos seus relatórios, os estudantes tiveram facilidade para descrever de forma clara os eventos produzidos, os instrumentos utilizados e as grandezas medidas. No entanto, apenas a Estudante 2 explicitou nos seus três primeiros relatórios procedimentos realizados para que os fatores desprezados pelo modelo teórico de referência das suas investigações influenciem minimamente os dados empíricos. No seu relatório para a atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”, por exemplo, a estudante disse:

Garantiu-se que o fluido estivesse aproximadamente em repouso e que o movimento do sistema fosse linear para realizar a análise unidimensionalmente e poder considerar o modelo teórico descrito anteriormente.

No relatório da atividade “Resfriamento de Sistemas”, nenhum dos participantes fez menção a procedimentos de controle de variáveis. Assim, pode-se dizer que, ainda que os estudantes do Grupo A1 tenham relacionado com clareza os experimentos com o controle de variáveis, como pode ser constatado quando analisamos as suas concepções sobre o conceito de experimento, os estudantes não desenvolveram esquemas de ação que os tornassem capazes de delinear procedimentos explícitos de controle de variáveis com o intuito de minimizar a influência dos fatores desprezados no modelo teórico de referência da investigação sobre os eventos produzidos. Isso demonstra que, mesmo que dominassem os conhecimentos predicativos relacionados com os conceitos de experimento e controle de variáveis, os estudantes não eram capazes de explicitar, em situações, procedimentos de controle de variáveis.

A análise de dados foi o aspecto no qual os estudantes apresentaram maiores dificuldades. Em seis dos 12 relatórios produzidos pelos estudantes não esteve presente qualquer debate sobre as

fontes de incerteza relacionadas com a imprecisão dos instrumentos de medida utilizados. Além disso, em apenas dois relatórios os estudantes debateram as consequências das simplificações consideradas no modelo teórico adotado que não foram completamente respeitadas no experimento. Por outro lado, na questão que envolvia a análise dos dados empíricos da posição de um móvel em função do tempo em um trilho de ar presente no questionário aplicado como teste final, as estudantes 2 e 3, quando solicitadas a explicar as diferenças das previsões construídas por meio do modelo proposto por elas e os dados empíricos investigados, destacaram que existiram simplificações consideradas nos seus modelos que não foram perfeitamente respeitadas no experimento do problema. A Estudante 3, por exemplo, respondeu dizendo: *“porque no meu modelo eu considerei que o automóvel não tinha variação de velocidade, sendo que na realidade, o atrito com o ar pode provocar variações nesta grandeza”*.

Assim como alguns dos participantes do Estudo 2, os estudantes 1 e 2 construíram conclusões equivocadas do ponto de vista científico baseados em dados empíricos. Nos seus relatórios do episódio de modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”, esses estudantes concluíram que a constante de amortecimento de um sistema massa-mola depende da massa do corpo suspenso. O Estudante 1, por exemplo, afirmou: *“De acordo com os valores de b [constante de proporcionalidade entre a força resistiva que age sobre o corpo oscilante e a sua velocidade] obtidos dos três experimentos descritos acima [descritos no relatório do estudante], verifica-se que um maior valor de massa de um corpo que oscila num determinado líquido implica num maior valor de b ”*. Os estudantes, no entanto, não destacaram que esta conclusão vai de encontro com o modelo que utilizavam em suas investigações, que pressupunha uma independência entre a massa do corpo suspenso no sistema massa-mola amortecido e a sua constante de amortecimento.

Um dos aspectos que mais se destaca entre os estudantes do Grupo A1 é a demonstração de que eles desenvolveram esquemas de ação que os tornaram capazes de simplificar eventos reais para representá-los no teste final. Em uma das questões, eles eram defrontados com dados empíricos que forneciam a posição de um móvel em um trilho de ar em função do tempo. Esses dados, como pode ser constatado na Figura 6.2, evidenciam que o móvel investigado realizou um movimento com velocidade aproximadamente constante. No entanto, poderá ser constatado na sequência deste estudo que, assim como todos os participantes do Estudo 2, os participantes dos grupos B1 e B2 investigaram os dados empíricos avaliando a aceleração do móvel, demonstrando não serem capazes de simplificar o evento para construir um modelo teórico para representá-lo. Os três participantes do Grupo A1 foram exceções. Quando solicitados a criar uma questão de pesquisa sobre o evento, os três apresentaram questões vinculadas com o modelo de movimento retilíneo uniforme, demonstrando serem capazes de decidir quais dos seus traços-chave do evento investigado precisam ser apreendidos no problema investigado, o que é uma ação complexa no enfrentamento de situações do campo conceitual da modelagem didático-científica. A Estudante 2, por exemplo, propôs a seguinte questão de pesquisa: *“Qual é a velocidade média do carrinho?”*. Já a Estudante 3 foi além. Demonstrando ter a capacidade de relacionar os eventos cotidianos com eventos controlados de laboratório, como o proposto na questão, a estudante propôs a seguinte questão de pesquisa:

Sabemos que um automóvel anda por uma estrada onde foram instalados dois sensores eletrônicos, conhecendo a posição do automóvel em vários momentos. Como saberíamos se o automóvel se movimentou com uma velocidade média adequada para essa estrada? Velocidade média adequada sendo menor ou igual a 60 m/s.

Com essa questão de pesquisa, a Estudante 3 evidencia compreender que é possível se investigar o movimento de um automóvel por meio de um experimento controlado de laboratório.

Ainda que tenham demonstrado que são capazes de simplificar o movimento do móvel no trilho de ar do questionário como um movimento com velocidade constante, evidenciando que aceitam a simplificação de eventos durante a modelagem de eventos reais, na entrevista realizada ao final da disciplina, quando defrontados com um problema em que precisavam construir um modelo teórico para representar o movimento de um lustre em uma igreja, os três participantes do Grupo A1 não aceitaram o uso do modelo de pêndulo simples para representá-lo. Eles propuseram o modelo de pêndulo físico considerando a força de arrasto com o ar.

Ainda analisando a questão sobre o movimento de um móvel em um trilho de ar, foi solicitado ainda que os alunos propusessem uma análise dos dados empíricos do problema. Destaca-se que, nas análises apresentadas, os estudantes do Grupo A1 não propuseram qualquer análise estatística dos dados. Tudo leva a crer que os estudantes apresentavam em seus relatórios uma análise estatística dos dados coletados porque era solicitado no protocolo de avaliação que eles a fizessem, e não porque eles julgavam efetivamente que tal análise fosse necessária. Isso evidencia que os estudantes não mobilizavam naturalmente esquemas de ação relacionados com a construção de evidências com base em dados coletados experimentalmente, o que é uma deficiência significativa no campo conceitual da modelagem didático-científica.

Resumidamente, podemos dizer que os estudantes do Grupo A1 apresentaram indícios de terem evoluído durante a disciplina em suas competências para explicitar as simplificações e os objetos da realidade considerados nos seus modelos teóricos. No entanto, os estudantes apresentaram dificuldades para: i) relacionar a construção dos seus modelos teóricos com as simplificações da realidade consideradas neles; ii) explicitar procedimentos de controle de variáveis realizados para minimizar a influência dos fatores desprezados no modelo teórico de referência de suas investigações; iii) relacionar as diferenças entre predições e evidências como consequências das simplificações consideradas no modelo teórico adotado que não foram completamente respeitadas no experimento; e iv) para escolher ferramentas adequadas para representar os modelos teóricos de referência de suas investigações.

Grupo B1

Os dados da Tabela 8.3 sintetizam as médias das avaliações dos 11 relatórios produzidos pelos três estudantes do Grupo B1³⁸.

A análise dos dados da Tabela 8.3 demonstram que os relatórios dos estudantes do Grupo B1 apresentam maiores deficiências em dois aspectos: i) na apresentação dos referenciais teóricos

³⁸ O Estudante 5 não entregou relatório no Episódio de Modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”.

utilizados em suas investigações; e ii) na análise dos dados coletados em seus experimentos. Dois fatores explicam a primeira dessas deficiências. O primeiro deles é decorrência de os alunos terem explicitado os objetos da realidade considerados em seus modelos teóricos de referência em apenas dois dos 11 relatórios produzidos. Ainda assim, nesses dois relatórios, os estudantes não apresentaram os objetos considerados de forma adequada. Por exemplo, no relatório da Estudante 4 do episódio de modelagem “Pêndulos”, ela afirma: “*Neste modelo teórico, os únicos objetos da realidade considerados são a Terra (g) e o fio (L)*”. No entanto, usando o modelo teórico de pêndulo simples, considerações sobre o corpo suspenso e sobre o suporte que sustenta o pêndulo também foram realizadas. Esses resultados evidenciam que os estudantes não tinham clareza sobre o conceito de referente, e que não desenvolveram um esquema de ação para enfrentar situações em que precisavam explicitar os objetos da realidade considerados nos modelos científicos explorados por eles.

Tabela 8.3 – Avaliações dos relatórios confeccionados pelos componentes do Grupo B1 sobre os episódios de modelagem conduzidos no Estudo 3.

<i>Episódio de Modelagem</i>	<i>Objetivo da Atividade</i>	<i>Referencial Teórico</i>	<i>Procedimento Experimental</i>	<i>Apresentação e Análise dos Dados Experimentais</i>	<i>Conclusões</i>	<i>Médias</i>
<i>Pêndulos</i>	8,3	4,6	8,0	6,3	10,0	7,4
<i>Sistema de Amortecimento Automotivo</i>	10,0	3,8	8,0	7,8	9,2	7,7
<i>Arquimedes e a Coroa do Rei</i>	10,0	4,6	8,3	6,9	7,8	7,5
<i>Resfriamento de Sistemas</i>	8,3	5,0	9,3	7,3	8,9	7,8

O outro fator que explica as más avaliações atribuídas aos relatórios dos estudantes no item “referencial teórico” é a dificuldade deles para expressarem as simplificações da realidade consideradas nos seus modelos. Eles explicitaram essas simplificações em apenas três dos relatórios produzidos. Além disso, em um desses três relatórios, o Estudante 6 apenas expôs as idealizações consideradas no modelo de sistema massa-mola de forma isolada, não destacando as implicações dessas simplificações na construção desse modelo. Esse resultado evidencia que os estudantes não desenvolveram conhecimentos suficientes para que eles se tornassem competentes para, em situação, refletir sobre o papel das simplificações da realidade estabelecidas em um processo de modelagem científica.

No questionário final da disciplina, os estudantes também apresentaram dificuldades para explicitar os objetos da realidade considerados em seus modelos. Defrontados com o problema em que precisavam investigar a velocidade de um automóvel em um atropelamento, apenas o Estudante 6 foi capaz de explicitar os objetos que ele efetivamente considerou quando usou o modelo de movimento retilíneo uniformemente variado para representar o movimento do automóvel. Ele disse

que, no seu modelo, considerou o carro e a estrada. A Estudante 4, que também propôs o uso do mesmo modelo que seu colega, disse que contemplou apenas o carro, ignorando que seu modelo envolve também características da estrada na qual o automóvel trafega.

Na mesma questão em que evidenciaram dificuldades para apontar os objetos da realidade dos seus modelos, os estudantes apresentaram dificuldades ainda maiores para explicitar as simplificações da realidade postuladas. O Estudante 5, por exemplo, disse: “*Consideramos sistemas de dois corpos fechados e isolados. Energia cinética conservada. O momento linear desse sistema é sempre conservado*”. Efetivamente, propondo um modelo da cinemática, o estudante não pressupôs nenhuma dessas idealizações.

Em relação às análises de dados realizadas pelos estudantes em seus relatórios, a principal deficiência identificada está relacionada à falta de uma avaliação sobre as consequências das simplificações consideradas no modelo teórico adotado que não foram completamente respeitadas no experimento, que só foi apresentada em um dos 11 relatórios dos estudantes do grupo. No entanto, no questionário respondido ao final da disciplina, os três estudantes evidenciaram compreender que as diferenças entre previsões construídas por meio de modelos teóricos e evidências experimentais decorrem também das simplificações da realidade consideradas nos modelos. Na questão em que eram defrontados com dados empíricos sobre a posição de um móvel que desliza em um trilho de ar, os estudantes foram perguntados se existiriam diferenças entre as previsões construídas com os seus modelos e os dados propostos no problema. A Estudante 5, por exemplo, disse:

Haveria, pois todo modelo teórico utilizado para desenvolver um experimento e tratar dos dados obtidos tem simplificações da realidade; e os dados obtidos de um experimento estão sujeitos ao nível de precisão das medidas feitas.

A estudante demonstra ter clareza sobre os fatores que explicam as diferenças entre previsões e evidências em experimentos científicos. Ainda assim, mesmo que tenham clareza sobre os referidos fatores, a falta de debates sobre eles nos relatórios elaborados evidenciam que, em situação, eles não mobilizam esquemas de ação para avaliar como as simplificações da realidade consideradas nos seus modelos teóricos de referência influencia as contrastações empíricas realizadas em suas investigações experimentais.

Na mesma questão que envolve a análise do movimento de um corpo em um trilho de ar, os estudantes demonstraram dificuldades para simplificar o evento investigado para representá-lo por meio de um modelo. Como já destacado, o movimento do móvel proposto no problema se move com velocidade aproximadamente constante (Figura 6.2). No entanto, quando solicitados a propor uma questão de pesquisa sobre o evento, os três estudantes propuseram problemas que envolviam a aceleração do corpo. O Estudante 5, por exemplo, propôs o seguinte: “*Qual a aceleração média do carrinho?*”. Já o Estudante 6 apresentou a seguinte questão: “*Qual a aceleração do carrinho?*”. É constatada nessas respostas uma dificuldade dos estudantes de aceitar a simplificação dos eventos reais na construção dos modelos científicos. Apesar de os estudantes compreenderem o conceito de modelo científico, entendendo que todo modelo científico implica em simplificações da realidade, em situação eles não foram capazes de mobilizar esquemas de ação que os tornem capazes de simplificar os eventos investigados.

Nessa mesma questão, foi solicitado ainda que os alunos propusessem uma análise dos dados empíricos do problema. Assim como os estudantes do Grupo A1, nas análises apresentadas, nenhum dos participantes do estudo expôs alguma análise estatística dos dados. Isso evidencia que os estudantes não desenvolveram esquemas de ação para, em situação de trabalho experimental, construir evidências e predições com base em uma teoria de incertezas.

A dificuldade dos estudantes de simplificar eventos durante a construção de modelos científicos foi evidente também quando eles foram defrontados, em entrevista, com um problema em que deveriam representar o movimento de um lustre. A transcrição abaixo demonstra que, inicialmente, os estudantes cogitam o uso do modelo de pêndulo simples para representar o lustre investigado.

Estudante 5: *A corrente é muito mais leve que o lustre em si?*

Pesquisador: *Sim.*

Estudante 5: *Então dá para descartar a massa da corrente em relação ao lustre?*

Estudante 6: *É, no caso real a corrente pesa bastante.*

Estudante 5: *É. No caso real, a corrente pesa bastante. Daí teria que levar em conta a corrente. Depende do tamanho do lustre também!*

A primeira questão levantada pelo Estudante 5 demonstra que o esquema de ação que ele mobiliza para enfrentar a situação proposta é fundamentado no conhecimento de que a decisão de desprezar alguma característica de um evento depende de comparações dentro do sistema estudado. No caso do lustre, o desprezo da massa da corrente que sustenta o lustre não depende apenas da massa da corrente, mas sim da razão entre a massa da corrente e a massa do lustre. Esse raciocínio do Estudante 5 demonstra o uso de um esquema de ação complexo dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica. No entanto, ainda que o pesquisador tenha respondido positivamente para a sua questão, o Estudante 6 se mostrou contrariado com o uso do modelo de pêndulo simples, demonstrando que, assim como no problema sobre os dados do móvel no trilho de ar enfrentado no questionário final, ele não aceita simplificar o evento investigado. Na transcrição abaixo, a Estudante 4 também demonstra não concordar com o desprezo da massa da corrente de sustentação do lustre.

Estudante 4: *Bom, eu não sei. Porque eu não sei as dimensões de um lustre. Eu não sei se eu aceito a ideia de usar o pêndulo simples.*

Estudante 5: *Se a gente puder assumir que a massa da corrente é desprezível...*

Estudante 4: *Tá, mas, a gente considerando a massa da corrente desprezível, a gente pode usar o pêndulo físico do mesmo jeito. A gente também desconsidera.*

Estudante 5: *Sim. A gente também pode usar o pêndulo físico.*

Estudante 6: *É que como a corrente é muito longa, aí tu pode. Aí tu não vai ter um erro muito grande considerando pontual o teu lustre.*

O trecho transcrito, além de evidenciar a dificuldade da Estudante 4 em aceitar a simplificação do evento investigado, demonstra que o Estudante 6 é capaz de avaliar o desprezo das dimensões do lustre por meio de um raciocínio em que ele compara essas dimensões com as dimensões da corrente de sustentação. Assim como o Estudante 5, ele demonstra usar um esquema de ação complexo no processo de modelagem científica. Destaca-se também que, quando questionados sobre as idealizações do modelo de pêndulo simples, os estudantes foram capazes de explicitar

todas as simplificações consideradas adequadamente. No entanto, a situação enfrentada evidencia o desconforto dos estudantes por terem que simplificar o evento investigado no problema.

Solicitados a propor um experimento para avaliar a validade do modelo de pêndulo simples para usá-lo para representar o movimento do lustre da igreja, o Estudante 5 propôs o uso de um experimento de laboratório com um pêndulo construído com uma bola em sua extremidade, como pode ser constatado na transcrição abaixo.

Estudante 5: *A gente faz o mesmo experimento, só que com escalas reduzidas, tanto a força que a gente vai aplicar ou...*

Pesquisador: *Só a escala? Por exemplo, eu vou ter que ter um lustre pequenininho?*

Estudante 5: *Não. Se a gente está considerando que o lustre tem uma massa pontual, então a gente, de repente, pode usar uma esfera ou qualquer coisa. Mas que a gente consiga, na mesma escala, manter a relação de peso do lustre, do peso da corrente, da força aplicada...*

Continuando, os estudantes foram questionados sobre os instrumentos que utilizariam para medir as grandezas de interesse do evento investigado.

Estudante 4: *O período, nós podíamos usar aqueles sensores [referindo-se aos photogates utilizados durante a disciplina], né?*

Estudante 5: *O phi [amplitude de oscilação do pêndulo] dá para calcular muito fácil.*

Destaca-se aqui que nenhum dos estudante propôs a realização de uma vidoanálise com o *software* Tracker, apesar de esse recurso ter sido vastamente utilizado durante a disciplina e ser bastante mais adequado e prático para se realizar medidas sobre o movimento de um pêndulo. Esse dado demonstra que a apresentação do Tracker como um instrumento para coleta de dados empíricos não foi suficiente para que os estudantes do Grupo B1 optassem por usar esse recurso em situação. Ainda que os estudantes tenham conhecimento sobre as facilidades do uso do *Tracker* para coletar dados empíricos, em situação eles não optam por delinear operações empíricas para a coleta de dados com o uso desse aplicativo.

Analisando-se as conclusões dos alunos em suas atividades, destaca-se que, em uma delas, os estudantes 4 e 6 procuraram usar dados empíricos para corroborar uma proposição equivocada do ponto de vista científico. No Episódio de Modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”, os estudantes julgavam que a amplitude de oscilação de um corpo que se move imerso em um fluido suspenso por uma mola dependia da constante elástica da mola que o sustenta. A Estudante 4, por exemplo, disse:

Sabe-se que a amplitude é inversamente proporcional à constante elástica da mola, pois para uma constante elástica menor, é necessário menos energia ou força para obter uma mesma amplitude. [...] A influência da constante elástica da mola no movimento não pode ser experimentalmente evidenciada.

Ressalta-se aqui que, diferentemente das estudante 1 e 5 do Estudo 2, a estudante respeitou a evidência experimental, e não argumentou que as suas previsões foram corroboradas apesar de seus dados empíricos evidenciarem o contrário. Esse dado demonstra que a estudante compreende o papel da experimentação no processo de validação dos modelos, aceitando que dados experimentais podem dar ou não apoio empírico aos modelos científicos, mas que eles não provam

ou refutam esses modelos, e evidencia também que ela desenvolveu esquemas de ação adequados para enfrentar situações que envolvem a contrastação empírica de previsões e evidências. Destaca-se também que a estudante comete outro equívoco conceitual na mesma atividade afirmando que “*todo movimento periódico (que se repete a intervalos regulares) é chamado de movimento harmônico simples*”, quando, na verdade, existem movimentos periódicos que não denominados por harmônicos simples.

Generalizando, podemos afirmar que os estudantes do Grupo B1 demonstraram dificuldades para: i) aceitar a simplificação de eventos durante a construção de modelos científicos; ii) explicitar as simplificações e os objetos da realidade considerados nos seus modelos científicos; e iii) explicar as diferenças entre previsões e evidências em investigações empíricas. Por outro lado, os estudantes demonstraram ser capazes de avaliar a pertinência de possíveis simplificações de eventos reais durante a confecção de modelos usando esquemas de ação complexos dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica.

Grupo B2

Os dados da Tabela 8.4 sintetizam as médias das avaliações dos 16 relatórios produzidos pelos 4 estudantes do Grupo B2.

A análise dos dados da Tabela 8.4 demonstra que a principal deficiência dos relatórios produzidos pelos estudantes do Grupo B2 refere-se à apresentação e à análise dos dados coletados em suas investigações. Em apenas três dos 16 relatórios produzidos os estudantes analisaram as consequências das simplificações consideradas no modelo teórico adotado que não foram completamente respeitadas no experimento. Em compensação, os estudantes debateram sobre as fontes de incerteza decorrentes da imprecisão dos instrumentos de coleta utilizados em 10 relatórios. Esses resultados podem ser entendidos como uma evidência de que os participantes do Grupo B2 tinham a tendência de atribuir as diferenças entre evidências e previsões em experimentos científicos somente à imprecisão dos instrumentos de coleta de dados usados.

Tabela 8.4 – Avaliações dos relatórios confeccionados pelos componentes do Grupo B2 sobre os episódios de modelagem conduzidos no Estudo 3.

<i>Episódio de Modelagem</i>	<i>Objetivo da Atividade</i>	<i>Referencial Teórico</i>	<i>Procedimento Experimental</i>	<i>Apresentação e Análise dos Dados Experimentais</i>	<i>Conclusões</i>	<i>Médias</i>
<i>Pêndulos</i>	10,0	6,6	7,5	6,4	10,0	8,1
<i>Sistema de Amortecimento Automotivo</i>	8,8	7,2	8,0	5,3	8,3	7,5
<i>Arquimedes e a Coroa do Rei</i>	10,0	7,5	8,0	6,3	8,8	8,1
<i>Resfriamento de Sistemas</i>	10,0	7,2	8,3	4,7	8,8	7,8

Quando analisamos a concepção dos estudantes do Grupo B2, constatamos que eles têm clareza de que as diferenças entre predições e evidências são também decorrentes das simplificações da realidade consideradas no modelo teórico de referência das investigações. No entanto, em situação, os estudantes, na maioria das vezes, debateram sobre as diferenças entre predições e evidências analisando apenas as incertezas dos instrumentos de medida utilizados nos experimentos.

Nas suas respostas ao questionário utilizado como teste final na disciplina, os estudantes 8 e 9 novamente demonstraram não mobilizar esquemas de ação adequados para analisar as implicações das simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos de referência dos experimentos. Na questão em que precisavam propor um modelo para representar um conjunto de dados referentes à posição de um móvel em função do tempo em um trilho de ar, os participantes foram questionados sobre a existência de diferenças entre as predições construídas por meio do modelo proposto por eles e os dados apresentados na questão. O Estudante 8 afirmou que não existiriam diferenças, enquanto que o Estudante 9 disse que “*haveriam discrepâncias por causa das incertezas nas medidas*”, demonstrando entender que as discrepâncias entre predições e evidências decorrem exclusivamente da imprecisão dos instrumentos de medida utilizados. Corroborando tal conclusão, os estudantes 8 e 9 concordaram no teste final com a afirmativa “As diferenças entre os resultados previstos pelos modelos teóricos da Física e os resultados experimentais são decorrentes, exclusivamente, da imprecisão dos instrumentos de medida utilizados”. Contrapondo as respostas dos estudantes 8 e 9, os estudantes 7 e 10 argumentaram que haveriam discrepâncias entre as predições e as evidências na questão sobre o móvel no trilho de ar em decorrência das simplificações da realidades consideradas no modelo adotado. O Estudante 7, por exemplo, disse:

O modelo super-simplifica a realidade, e algumas quantias que afetam o comportamento não são levadas em consideração. Mesmo depois de “refinar” o experimento, haverá quantias que afetam a dinâmica, e sobre elas não temos controle.

Ainda analisando as respostas dos estudantes à questão sobre o móvel que se move em um trilho de ar, verifica-se que, quando solicitados a propor uma análise dos dados empíricos do problema, os estudantes do Grupo B2, assim como os dos grupos A1 e B1, não realizaram qualquer análise estatística dos dados, evidenciando não mobilizarem esquemas de ação para construir evidências e predições com base em uma teoria de incertezas.

Ainda que tenham evidenciado compreender o caráter representacional dos modelos científicos, como foi relatado anteriormente, os estudantes do Grupo B2 demonstraram no questionário respondido ao final da disciplina que têm dificuldades para explicitar as simplificações consideradas nos seus modelos teóricos. Na questão em que os estudantes investigavam um atropelamento, eles foram questionados sobre a necessidade de se considerar alguma simplificação da realidade para resolver o problema enfrentado. Os estudantes 8 e 9 disseram que não precisariam considerar simplificações da realidade, enquanto que os estudantes 7 e 10 apresentaram respostas em que não explicitam simplificações que foram efetivamente consideradas nos modelos que utilizaram. O Estudante 10, por exemplo, que usou o modelo de movimento retilíneo uniformemente

variado para resolver o problema, disse que “*levaria em conta que o carro começou a frear exatamente no local onde a marca no asfalto começa. Sendo assim, desconsidera um possível dx até as marcas começarem*”.

Apesar de os estudantes terem procurado apresentar as simplificações da realidade consideradas nos seus modelos teóricos de referência em 11 dos 16 relatórios produzidos, em apenas três deles essa exposição foi realizada de forma efetivamente vinculada com a construção do modelo teórico utilizado. O Estudante 10, por exemplo, no seu relatório da atividade “Sistema de Amortecimento Automotivo”, enumerou as simplificações consideradas dizendo:

Pelo modelo adotado, temos algumas idealizações a fazer: a haste onde se encontra a mola é fixa (não está sujeita a trepidações), a mola tem massa desprezível e não está sujeita a deformações, as dimensões do corpo suspenso não serão levadas em conta, e será desconsiderada a resistência do ar.

A transcrição evidencia dois aspectos: i) o estudante apresenta simplificações que não são levadas em conta no modelo de sistema massa-mola como, por exemplo, a consideração de que a mola não está sujeita a deformações; e ii) a apresentação das simplificações foi realizada de forma desvinculada do processo de construção do modelo teórico utilizado, pois, enumerando as idealizações consideradas em uma lista, como foi feito pelo Estudante 10, não é evidenciado, por exemplo, como essas simplificações influenciaram a construção das equações utilizadas para se representar o modelo de sistema massa-mola. O estudante demonstra assim não ter desenvolvido esquemas de ação adequados para enfrentar situações em que precisa relacionar a construção de modelos teóricos com as simplificações da realidade consideradas nele.

Em decorrência da dificuldade dos estudantes de apresentarem as simplificações da realidade consideradas nos seus modelos teóricos, os participantes do Grupo B2 explicitaram em apenas seis relatórios procedimentos tomados para se controlar variáveis, com o objetivo de minimizar a influência de fatores desprezados pelo modelo teórico adotado. Ainda assim, em apenas um dos relatórios esses procedimentos foram apresentados de forma completa; nos outros cinco os estudantes não foram capazes de destacar todos os procedimentos de controle de variáveis realizados. O Estudante 9, por exemplo, em seu relatório no Episódio de Modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”, descrevendo um procedimento realizado no experimento em que ele pôs um corpo suspenso em um mola para oscilar imerso em um líquido, disse: “*A alongação da mola, antes de iniciar a oscilação, foi controlada de maneira que nunca ultrapassasse a margem do líquido. Assim podemos considerar a força de empuxo constante durante o movimento do corpo*”. No entanto, o estudante não destacou, por exemplo, que procurou produzir oscilações com pequenas amplitudes com o objetivo de que o corpo se movesse com pequenas velocidades, como é pressuposto no modelo de sistema massa-mola amortecido utilizado na sua investigação.

Uma habilidade que os estudantes demonstraram possuir durante a confecção dos seus relatórios foi a capacidade de explicitar os objetos da realidade considerados em seus modelos teóricos de referência. Nos quatro relatórios produzidos no Episódio de Modelagem “Resfriamento de Sistemas”, os estudantes destacaram os objetos da realidade considerados no modelo utilizado não confundindo objetos com grandezas utilizadas para representar suas propriedades. Resultados

semelhantes foram detectados na análise das respostas dos estudantes no questionário aplicado como teste final na disciplina. Quando solicitados a apontar os objetos da realidade considerados no modelo que utilizaram para investigar o atropelamento descrito em um dos problemas, os estudantes 8, 9 e 10 responderam de forma coerente com o modelo de movimento retilíneo uniformemente variado utilizado por eles na ocasião. O Estudante 10, por exemplo, respondeu: “A estrada, de onde eu retiro a informação da “distância até parar” (marcas de freio) e o carro, o que é o objeto estudado”. Os estudantes demonstraram assim ter desenvolvido esquemas de ação para enfrentar com sucesso situações em que precisam delimitar os objetos reais considerados no processo de modelagem científica.

Assim como alguns dos estudantes dos grupos A1 e B1, o Estudante 7 do Grupo B2 também apresentou dificuldades para simplificar eventos durante a construção de modelos teóricos. Defrontados com o problema em que precisavam representar o lustre de uma igreja durante a entrevista realizada ao final da disciplina, os estudantes 8, 9 e 10 sugeriram o uso do modelo de pêndulo simples. O Estudante 7, no entanto, condicionou a proposta dos colegas. Tal ocasião é transcrita abaixo.

Estudante 7: *Depende. Se a corrente for pequeninha, tem que ter o momento de inércia, daí não é pêndulo simples. E se a corrente for bastante comprida em relação ao tamanho do lustre, daí pode ser que o pêndulo simples seja uma boa primeira aproximação.*

Estudante 8: *Uma razão, assim, da massa do lustre pela corrente...*

Estudante 7: *Eu iria ver... É que o comprimento dela e a massa são importante, mas eu não tenho nenhuma ideia clara a princípio de como avaliar. Mas teria que comparar tanto a dimensão dela com a dimensão do lustre, né? Os tamanhos. E a massa dela com a massa do lustre.*

Estudante 8: *Se for utilizado o modelo de pêndulo simples, aí tem que levar em conta as simplificações, né? Se é inextensível, não considerar o fio, né? Considerar sem massa.*

Estudante 7: *Pequenas oscilações.*

Estudante 9: *Tem que considerar também que o fio não esteja dobrado, esteja totalmente estendido.*

Estudante 10: *O lustre é uma massa pontual.*

Estudante 8: *Mas se daí for físico, tem que considerar a massa tanto do lustre como da corrente ali, né? [...] E também não considerar a resistência do ar.*

Estudante 9: *Mas acho que não... Não sei, eu acho que não consideraria. Eu consideraria como se fosse uma força, um vento, e não tem resistência do ar dentro da igreja.*

Ainda que seus colegas argumentem que o modelo de pêndulo simples seria suficiente para resolver o problema proposto, o Estudante 7 não aceita usá-lo. Procurando simplificar o evento, o estudante propõe o uso do pêndulo físico considerando o lustre como uma grande esfera central com pequenas esferas presas nele por pequenas hastes rígidas. Ele disse:

E o cara não precisa calcular as dimensões exatamente também. Se um troço assim, ó! Cheio de velinhas em todas as direções [desenhando um lustre composto por uma esfera central com hastes que sustentam pequenas bolinhas que representam as velas]. Aí tu não vai ficar considerando o momento de “inérciazinho” de cada um [apontando para os pequenos detalhes do lustre exposto na figura que ilustra o problema].

Para o estudante, representar o lustre com o modelo de pêndulo simples implicava em simplificações que ele julgava inoportunas frente ao problema enfrentado. De forma semelhante, na

questão que envolve a análise de um atropelamento no questionário respondido como teste final na disciplina, o Estudante 7 foi o único componente do seu grupo que não propôs o uso do modelo de movimento retilíneo uniformemente variado para resolver o problema. Sua resposta, que é transcrita a seguir, demonstra que a sua intenção era construir o modelo mais completo possível sobre o evento investigado: *“Procuraria as quantias conhecidas mais confiáveis para tirar o máximo de informações possíveis. Procuraria ver o quão preciso são os dados do perito”*. Assim como ocorreu na análise dos resultados dos estudantes do Grupo B1, é constatada nessas respostas uma dificuldade dos estudantes de aceitar a simplificação dos eventos reais na construção dos modelos científicos. Além disso, apesar de os estudantes compreenderem que os modelos científicos implicam em simplificações da realidade, em situação, eles não foram capazes de mobilizar esquemas de ação que os tornem capazes de simplificar os eventos investigados.

Outra ocasião que evidencia a dificuldade do Estudante 7 para aceitar a consideração de simplificações da realidade durante a construção de modelos científicos envolve a sua resposta ao problema do questionário final em que ele deveria propor uma questão de pesquisa a ser respondida por meio da análise de um conjunto de dados referentes à posição de um móvel em um trilho de ar em função do tempo. Como mencionamos, os dados evidenciam que o móvel investigado realiza um movimento praticamente com velocidade constante (Figura 6.2). No entanto, o Estudante 7, assim como todos os seus colegas do Grupo B2, propõe uma questão de pesquisa envolvendo a aceleração do móvel. O Estudante 7, por exemplo, propôs o seguinte: *“Qual a aceleração do carrinho?”*.

Por fim, a última demonstração do Estudante 7 de que ele tem dificuldade para aceitar simplificações da realidade ocorreu durante a discussão final do Episódio de Modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”. Em uma de suas manifestações, o estudante externalizou sua contrariedade em investigar o sistema de amortecimento de um automóvel por meio do modelo de sistema massa-mola amortecido. Ele disse: *“Só que, num amortecedor automotivo não é assim que a coisa funciona”*. A manifestação do estudante suscitou então um debate sobre como os experimentos de laboratório podem nos auxiliar no estudo de eventos mais complexos.

Cabe ressaltar aqui que o Estudante 7, como foi descrito no Quadro 8.1, era um participante que se destacava por um bom domínio sobre os conteúdos de Física tratados na disciplina. No entanto, o estudante demonstrou ter dificuldade de usar seus conhecimentos para construir representações de eventos reais. Esse resultado demonstra que, assim como ocorreu para o Estudante 2 do Estudo 2, apenas dominar os conhecimentos dos campos conceituais da Física não é suficiente para que os estudantes enfrentem situações em que eles precisam construir representações simplificadas da realidade. Nesse casos, eles precisam mobilizar também conhecimentos que pertencem ao campo conceitual da modelagem didático-científica.

Resumidamente, podemos dizer que os estudantes do Grupo B2 apresentaram dificuldade para: i) analisar as discrepâncias entre predições e evidências em investigações empíricas; ii) explicitar as simplificações da realidade consideradas nos seus modelos teóricos de referência; e iii) relacionar tais simplificações com procedimentos de controle de variáveis realizados em suas

investigações. Por outro lado, os estudantes demonstraram ser capazes de diferenciar os objetos da realidade das grandezas utilizadas para representá-los.

Considerações sobre os avanços e dificuldades dos estudantes relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica

A análise de dados demonstra que, assim como no Estudo 2, as atividades experimentais foram frutíferas para defrontar os estudantes com situações que envolvem conceitos e esquemas de ação relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica. Porém, também reproduzindo os resultados do Estudo 2, os avanços dos estudantes desta investigação em suas competências para enfrentar situações de modelagem foram bastante tímidos. A dificuldade mais evidente enfrentada pelos estudantes se refere ao estabelecimento de simplificações da realidade durante a construção de modelos científicos. Os estudantes demonstraram não aceitar simplificar os eventos reais quando defrontados com situações de modelagem. Isso ficou claro principalmente nas questões de pesquisa propostas pelos estudantes relacionadas com os dados sobre o movimento de um móvel em um trilho de ar expostos no questionário respondido no início e no final da disciplina. Como pôde ser observado na Figura 6.2, os dados mostravam que o móvel se movia com velocidade aproximadamente constante. No entanto, sete dos 10 participantes do estudo, demonstrando não aceitar a simplificação de que o movimento era uniforme, apresentaram questões de pesquisa sobre a aceleração do móvel. Possivelmente, a dificuldade de aceitar simplificações dos estudantes é decorrente de uma crença inconscientemente compartilhada por eles de que o conhecimento científico deve ser preciso, objetivo e infalível. Por isso, ainda que explicitem compreender que os modelos científicos são representações simplificadas, quando enfrentam as situações de modelagem, os estudantes somente ficam satisfeitos quando seus modelos descrevem com muita precisão o evento investigado, independentemente da precisão exigida pelo problema encarado.

Analisando-se especificamente o desempenho dos estudantes quando precisavam mobilizar esquemas de ação especificamente relacionados com o trabalho experimental, podemos, generalizando, afirmar que os estudantes apresentaram significativas dificuldades:

- para delinear procedimentos de controle de variáveis com base em um modelo teórico de referência;
- para explicar as diferenças entre predições e evidências;
- para contrastar predições e evidências realizando uma análise estatística das incertezas dos dados comparados.

Esses resultados tornam evidentes as dificuldades dos estudantes de vincular os conhecimentos do campo conceitual da modelagem didático-científica com as investigações que eles próprios realizam. Por exemplo, ainda que tenham evidenciado que compreendiam que é inevitável que existam diferenças entre predições e evidências em função das simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos de referências das investigações empíricas, quando em situação, a maioria dos estudantes tendeu a atribuir as diferenças entre predições e evidências apenas às incertezas dos instrumentos de coleta de dados.

Em decorrência das dificuldades demonstradas pelos estudantes no enfrentamento com situações de modelagem, podemos dizer que a proposição teórica testada foi apenas parcialmente corroborada pelos dados coletados. Pode-se constatar que os episódios de modelagem efetivamente foram frutíferos para defrontar os estudantes com situações que envolvem conceitos e esquemas de ação relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica. No entanto, assim como no Estudo 2, foram muito restritos os avanços dos estudantes em suas competências para enfrentarem situações desse campo conceitual.

Esses resultados demonstram que os quatro episódios de modelagem não foram suficientes para possibilitar que os estudantes desenvolvessem esquemas de ação para que, defrontados com situações experimentais, utilizassem os conhecimentos próprios do trabalho experimental que foram sintetizados por meio dos invariantes operatórios de referência propostos no Estudo Teórico. Tal conclusão demonstra novamente que o domínio do campo conceitual de modelagem didático-científica demanda tempo e o enfrentamento com uma ampla gama de situações, o que não pode ser proporcionado aos estudantes em uma única disciplina experimental com 18 aulas (GUILLON & SÉRÉ, 2002; LÓPEZ-RÍOS, VEIT & ARAUJO, 2011; BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2011).

8.6 Considerações gerais sobre o Estudo 3

Comparados com os do Estudo 2, podemos dizer que os resultados do Estudo 3 foram bastante positivos. Pôde ser constatado nas manifestações dos estudantes que, com a implementação das tarefas de leitura, o nível de abertura dos episódios de modelagem se tornou bastante adequado, possibilitando que, ao mesmo tempo, os estudantes tivessem liberdade para delinear suas investigações e não se desnortearassem no enfrentamento das situações propostas. Especialmente em função disso, as atitudes dos estudantes mensuradas em relação aos episódios de modelagem foram muito positivas. Destaca-se que os estudantes relataram, espontaneamente, que se encontravam frequentemente em horários extraclasse para realizar debates entusiasmados sobre suas investigações. A decisão de realizar esses encontros é um significativo indício de que eles gostavam das atividades propostas, e de que efetivamente se engajavam para enfrentá-las.

É importante ressaltar novamente a importância das discussões finais das atividades. Assim como no Estudo 2, as discussões possibilitaram que debates interessantes fossem suscitados pelos próprios estudantes. Relatamos aqui três exemplos que julgamos mais significativos:

- i) Força de arrasto proporcional à área do corpo: durante a discussão final do Episódio de Modelagem “Pêndulos”, os estudantes do Grupo B1 relataram que construíram um modelo de pêndulo simples amortecido para representar os eventos investigados. Nesse modelo, os estudantes explicaram que consideraram a força resistiva exercida pelo ar sobre o pêndulo como proporcional à área superficial do corpo suspenso. Dessa manifestação, surgiu um grande debate sobre forças resistivas em pêndulos no qual se discutiu se seria mais adequado considerar que tais forças são proporcionais à área superficial do corpo suspenso ou se são proporcionais à área da seção transversal desse corpo.

ii) Período de um pêndulo com fio de comprimento nulo: ainda na discussão final do Episódio de Modelagem “Pêndulos”, os estudantes do Grupo B2 apresentaram um gráfico que representava a variação do período predito por um modelo de pêndulo em que o corpo suspenso era considerado esférico em função de diferentes comprimentos do fio de sustentação dos pêndulos. Nesse gráfico, era indicado que, quando o comprimento do fio de sustentação do pêndulo tendia a zero, o período do pêndulo tendia ao infinito. O Estudante 7 manifestou sua não compreensão sobre o motivo dessa tendência ao infinito. Em função disso, os estudantes, juntamente com a professora da disciplina, realizaram um grande debate em que concluíram que, no modelo utilizado, considerar o comprimento do fio nulo equivale a considerar uma esfera suspensa por um eixo que passa pelo seu centro, e que, devido ao fato de que o modelo não pressupõe forças resistivas, não há motivo para que a esfera pare de rotar o seu eixo de sustentação, o que implica que seu período é infinito.

iii) Método dos mínimos quadrados: na discussão final do Episódio de Modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo”, os estudantes do Grupo B2 relataram que utilizaram a função “linha de tendência” do *software* Excel para ajustarem uma curva aos dados que tinham coletado experimentalmente. Os estudantes questionaram então sobre como o *software* calculava a melhor curva que se ajusta aos dados. Dessa questão, surgiu um debate sobre como funciona o método dos mínimos quadrados.

Outro aspecto das discussões finais que deve ser ressaltado é que elas oportunizavam que os estudantes evoluíssem: a) em suas habilidades de se comunicar em público; e b) em termos da linguagem utilizada em seus discursos. Relatamos aqui dois episódios que evidenciam isso.

i) Valor verdadeiro: na discussão final do Episódio de Modelagem “Pêndulos”, a Estudante 2 disse: “*É como o [Estudante 1] falou: a gente está considerando como valor verdadeiro o período teórico medido por isso aqui [apontando para a equação do período]. Só que a gente sabe esse não é realmente o valor verdadeiro*”. Essa manifestação suscitou um debate sobre o conceito de valor verdadeiro.

ii) Análise estatística de dados: na discussão final do Episódio de Modelagem “Arquimedes e a Coroa do Rei”, os estudantes do Grupo B2 usavam o termo *valor otimista* e *valor pessimista* para se referirem aos valores extremos das suas medidas de composição do objetivo investigado na atividade. Em outras palavras, eles denominavam de valor otimista o valor médio de uma medida mais dois desvios padrão, e denominavam de valor pessimista o valor médio menos dois desvios padrão. Essa linguagem causou grande confusão para os colegas e para a professora que assistia à apresentação dos Grupo B2, o que suscitou um debate sobre uma melhor forma de se referir aos valores medidos em investigações empíricas. Esse debate contribuiu para que os estudantes compartilhassem dos mesmos significados para os termos utilizados em suas apresentações, e também para promover um avanço dos estudante no sentido de tornar a linguagem deles alinhada com a linguagem científica.

As discussões finais também foram muito importantes para que os estudantes construíssem concepções adequadas para os conceitos de modelo, teoria e experimento. Em função da ampliação

do campo conceitual da modelagem didático-científica proposta no Estudo Teórico, os debates sobre metamodelagem realizados tiveram um enfoque mais claro do papel dos modelos teóricos de referência no delineamento das investigações empíricas. Também em função do Estudo Teórico, pudemos realizamos uma análise mais profunda de suas concepções sobre os conceitos específicos do trabalho experimental, o que nos possibilitou constatar que os estudantes efetivamente compreenderam que o controle de variáveis promovido em experimentos científicos é delineado com base nas simplificações da realidade consideradas nos modelos teóricos. Pode-se concluir, portanto, que os estudantes desenvolveram satisfatoriamente conhecimentos predicativos sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica.

Por outro lado, ainda que tenham evoluído em seus domínios do campo conceitual da modelagem didático-científica de forma mais significativa do que os participantes do Estudo 2, os participantes do Estudo 3 continuaram apresentando significativas dificuldades para modelar eventos físicos ao final da disciplina. Esse resultado evidencia que, para os estudantes, relacionar os conhecimentos do campo conceitual da modelagem didático-científica com as situações enfrentadas durante o trabalho experimental não é uma tarefa simples. Embora tenham demonstrado compreender muitos dos conhecimentos envolvidos no processo de modelagem científica, em situação, os estudantes não os vinculavam com as investigações que eles próprios realizavam. Abrindo uma perspectiva futura de trabalho, a análise dessa desvinculação poderá ser investigada por meio da comparação entre os conhecimentos predicativos e operatórios dos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica, o que exigirá uma análise profunda das ações dos indivíduos em situação de modelagem e das suas concepções sobre os principais conceitos envolvidos no processo de modelagem científica.

As dificuldades enfrentadas pelos estudantes para enfrentar situações de modelagem corroboram a concepção de Vergnaud de que o avanço no domínio de um campo conceitual demanda tempo e o enfrentamento contínuo de um grande conjunto de situações. Por isso, os resultados desse estudo evidenciam a necessidade de que objetivos de aprendizagem relacionados com o desenvolvimento por parte do alunos de conhecimentos do campo conceitual da modelagem didático-científica precisam permear o currículo do curso de Física.

9. Considerações Finais

Associar teoria e prática no ensino de Física: esse foi o objetivo que nos moveu nesta tese. Desejávamos delinear e avaliar atividades que evidenciassem aos estudantes o papel dos conhecimentos científicos no processo de apreensão da realidade. Para isso, optamos por ressignificar as atividades experimentais por meio do enfoque no processo de modelagem científica. Julgávamos que, com essa decisão, poderíamos estabelecer os modelos científicos como os mediadores entre as teorias e a realidade, e o processo de modelagem científica como a busca por respostas para questões sobre eventos do mundo físico. Procurando alcançar essas expectativas, realizamos quatro estudos, sendo três empíricos (estudos 1, 2 e 3) e um teórico.

O Estudo 1 foi realizado com dois objetivos: i) familiarizar o pesquisador com a nova metodologia de ensino utilizada; e ii) levantar hipóteses e proposições pertinentes para serem avaliadas nos dois estudos empíricos subsequentes. Para isso, baseados nos ciclos de modelagem de Hestenes (2006) e na concepção de modelagem científica de Bunge (1972; 1989; 2010), foram delineadas e conduzidas quatro atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica em uma turma da disciplina “Física Experimental II – A” do IF-UFRGS. Como estávamos dando os primeiros passos em uma pesquisa envolvendo uma nova metodologia de ensino, consideramos prematuro para nossa investigação definir um referencial teórico de aprendizagem antes de adquirirmos maior familiaridade com o desenvolvimento das atividades. As questões que nortearam o Estudo 1 foram:

Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam:

- *a atitude dos estudantes em relação às atividades experimentais?*
- *a percepção dos estudantes sobre como deve ser desenvolvida uma boa aula de laboratório?*
- *a capacidade dos alunos de relacionar os modelos teóricos da Física, o processo de modelagem científica e a experimentação?*

Como síntese dos resultados do Estudo 1, podemos destacar que: i) os estudantes apresentaram significativa dificuldade para enfrentar problemas que exigiam a construção ou a exploração de modelos teóricos; e ii) as concepções dos estudantes sobre a natureza dos modelos e da modelagem científica permaneceram confusas após a disciplina. Desses resultados, e de considerações apresentadas em artigos da área, concluímos que: i) precisávamos estabelecer e compartilhar com os estudantes explicitamente os objetivos de aprendizagem que almejávamos que eles alcançassem nas atividades; e ii) promover debates explícitos sobre metamodelagem focados no compartilhamento de significados sobre os conceitos de modelo, teoria e modelagem. Para estabelecer e avaliar os objetivos de aprendizagem das atividades e para dar suporte teórico aos debates realizados nas aulas, usamos a Modelagem Didático-Científica Reflexiva de Brandão, Araujo e Veit (2012) como referencial teórico no Estudo 2. Com base nesse referencial, adotamos a concepção de que a modelagem científica pode ser entendida como um campo conceitual subjacente

aos campos conceituais da Física. As questões de pesquisa que buscamos responder no Estudo 2 foram as seguintes:

Como e por que atividades experimentais focadas no processo de modelagem científica influenciam:

- *as crenças e atitudes dos estudantes em relação às atividades experimentais?*
- *o domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica por parte dos estudantes?*

Os resultados do Estudo 2 se mostraram semelhantes aos do Estudo 1. Os estudantes apresentaram grandes dificuldades para enfrentar as situações propostas nas atividades e mostraram uma evolução muito tímida nas suas concepções sobre os conceitos de modelo e de modelagem. Em outras palavras, as situações enfrentadas pelos estudantes nas atividades não foram suficientes para proporcionar um avanço robusto dos alunos nos seus domínios do campo conceitual da modelagem didático-científica. Em função desses resultados, optamos por, antes do Estudo 3, realizar um estudo teórico com o objetivo de esclarecer como o trabalho experimental se situa dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica, vinculando os conceitos mais gerais desse campo conceitual com conceitos especificamente relacionados com o fazer experimental.

Para a realização do Estudo Teórico, realizamos primeiramente uma análise da obra de Bunge com o objetivo de esclarecer a sua concepção sobre o papel das operações empíricas no processo de modelagem científica. Em seguida, desenvolvemos uma análise procurando elucidar o posicionamento dos conceitos e esquemas de ação relacionados ao trabalho experimental dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica, vinculando conceitos como, por exemplo, os de predição, de evidência e de contrastação com outros já estabelecidos na Modelagem Didático-Científica Reflexiva (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2012) como os de modelo teórico e de teoria geral. Por fim, como resultado do Estudo Teórico, propusemos um conjunto de doze invariantes operatórios de referência do campo conceitual da modelagem didático-científica associados a conceitos particularmente relacionados com o trabalho experimental. Esses conceitos, por sua vez, foram incorporados à estrutura conceitual de referência desse campo conceitual que foi estabelecida originalmente por Brandão, Araujo e Veit (idem). Foi no Estudo Teórico que defendemos a tese de que o campo conceitual da modelagem didático-científica engloba conceitos, situações e esquemas de ação que são vinculados especificamente com o processo de contrastação empírica de ideias científicas. Obtivemos, então, a maior contribuição desta tese à área de ensino de Física: *o estabelecimento de um referencial teórico para pesquisadores que pretendam delinear e/ou investigar atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica.*

No Estudo 3, em decorrência do Estudo Teórico, passamos a adotar uma concepção mais ampla do campo conceitual da modelagem didático-científica. Em função disso, ainda que tenhamos investigado as mesmas questões de pesquisa do Estudo 2, os debates realizados com os estudantes foram mais profundos no que tange ao processo de contrastação empírica dos modelos científicos. Além disso, o Estudo Teórico possibilitou que fosse conduzida no Estudo 3 uma análise mais completa sobre o domínio dos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-

científica, contemplando mais detalhes sobre as concepções e as competências dos estudantes relacionadas com o trabalho experimental.

Além do Estudo Teórico, os resultados do Estudo 2 também influenciaram o delineamento do Estudo 3. A decisão de implementar o uso de um protocolo de avaliação e de guias de atividade nas aulas do terceiro estudo empírico foi decorrente do desnorteamento sentido por alguns estudantes durante as atividades do Estudo 2, que influenciou para que eles não construíssem atitudes positivas em relação a essas atividades. O protocolo e os guias utilizados, no entanto, não foram suficientes para que os estudantes se sentissem seguros nas primeiras atividades do Estudo 3, o que nos levou a implementar ainda o uso de Tarefas de Leitura (ARAUJO & MAZUR, 2013) a partir da terceira atividade experimental da disciplina investigada.

Os resultados do Estudo 3 foram mais satisfatórios do que os dos dois primeiros estudos empíricos. Foram coletadas evidências de que as atitudes dos estudantes em relação às atividades desenvolvidas foram bastante positivas principalmente em função da implementação de tarefas de leitura. Além disso, foram identificados indícios de que as concepções dos participantes sobre os conceitos de modelo, teoria e experimento no final da disciplina eram relativamente sofisticadas. No entanto, ainda que tenhamos identificado evidências de que a evolução dos domínios dos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica tenham sido mais robustos no Estudo 3 do que no Estudo 2, novamente os resultados demonstraram que eles apresentavam significativas dificuldades para enfrentar situações que envolviam a modelagem de eventos físicos. Esses resultados mostram que, assim como ocorre com qualquer campo conceitual, o domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica é lento e penoso.

Guillon e Séré (2002) já haviam chegado a tal conclusão quando mostraram que estudantes que realizaram atividades com enfoque no processo de modelagem científica no decorrer de dois anos ainda apresentavam dificuldades para compreender o processo de construção, exploração e validação de modelos científicos. Desse modo, podemos dizer que, assim como os resultados de Guillon e Seré (*idem*), de Brandão (2012) e de López-Ríos, Veit e Araujo (2011), os dados coletados nesta investigação fornecem apoio empírico para a concepção de que objetivos de aprendizagem relacionados com o processo de modelagem científica precisam permear muitas das disciplinas ao longo de todo o curso de Física, possibilitando que os estudantes enfrentem uma grande quantidade de situações de modelagem em seus cursos de graduação, para que desenvolvam competências para construir, explorar e validar representações simplificadas da realidade.

Nesta tese, foi dado um importante passo na direção de se buscar esclarecer como atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica possibilitam que os estudantes: i) construam atitudes positivas em relação às atividades experimentais, em função principalmente da realização de atividades que dão liberdade aos estudantes, mas não os deixam desnorteados em suas ações, ii) deem sentido aos conceitos mais fundamentais do campo conceitual da modelagem didático-científica, sobretudo em decorrência da realização de debates explícitos sobre metamodelagem delineados com base nas relações estabelecidas nesse campo conceitual, e iii) enfrentem situações que demandam o desenvolvimento de esquemas de ação do campo conceitual

da modelagem didático-científica, em função das características das atividades que demandam que os estudantes construam, explorem e validem modelos científicos.

Com o referencial teórico desenvolvido no Estudo Teórico e com os resultados obtidos no Estudo 3, temos amplas condições de delinear episódios de modelagem frutíferos para a ampliação e aprofundamento das investigações conduzidas nesta tese. Por exemplo, os episódios de modelagem apresentam um terreno fértil para confrontar avanços e retrocessos nos conhecimentos predicativos e operatórios desenvolvidos pelos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica. Temos dados em nossos estudos que indicam que certos estudantes, mesmo compreendendo os sentidos e os significados dos principais conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica, não conseguiam mobilizá-los em suas ações durante o defrontamento de situações de modelagem. Por extrapolar o escopo da presente tese, decidimos não entrar na discussão de tais dados. Preferimos planejar novos estudos que, a partir da análise detalhada das ações dos sujeitos em ação, seja esclarecido o processo de mobilização dos conhecimentos predicativos no enfrentamento de situações de modelagem, ou seja, na demonstração do conhecimento operatório dos estudantes relacionados com o campo conceitual da modelagem didático-científica. Esses estudos deverão fornecer dados empíricos que permitirão uma avaliação mais precisa sobre o efetivo uso por parte dos estudantes dos invariantes operatórios de referência propostos no Estudo Teórico.

Nos estudos 2 e 3 desta tese, procuramos investigar os principais avanços e dificuldades dos estudantes quando eles realizavam atividades que os defrontavam com situações do campo conceitual da modelagem didático-científica. Não estava entre os propósitos dessas investigações a identificação dos principais invariantes operatórios utilizados pelos sujeitos em situação, que demandaria uma imersão de grande profundidade nos dados coletados sobre as ações dos estudantes quando enfrentavam as situações de modelagem propostas nas atividades. Em função disso, estabelece-se como uma das perspectivas futuras de trabalho a realização de mais análises com mais estudantes enfrentando essas e novas situações experimentais do campo conceitual da modelagem didático-científica com a finalidade de identificar os principais invariantes operatórios utilizados pelos estudantes nessas situações.

Outra perspectiva futura de pesquisa que emerge dos nossos resultados é a realização de investigações em que as dificuldades e os avanços dos estudantes sobre o campo conceitual da modelagem didático-científica sejam avaliados quando os estudantes realizam atividades experimentais sobre campos da Física distintos dos abordados nesta tese. Sabendo-se que o campo conceitual da modelagem didático-científica subjaz os campos conceituais da Física, deve-se ter clareza de que a generalização dos resultados obtidos nesta tese para atividades sobre outros campos científicos deve ser realizada com parcimônia. Não é possível afirmar que as dificuldades enfrentadas pelos estudantes em situações de modelagem que envolvem, por exemplo, conteúdos de termodinâmica serão as mesmas quando eles constroem modelos baseados na teoria eletromagnética. Frente a isso, entendemos que novos estudos sobre os avanços e as dificuldades de estudantes no enfrentamento de situações experimentais sobre outros conteúdos da Física precisam ser realizados. Resultados dessas novas investigações, quando comparados com os

resultados desta tese, nos possibilitarão uma compreensão mais ampla sobre as potencialidades das atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica para possibilitar que os estudantes se apropriem dos conhecimentos predicativos e operatórios do campo conceitual da modelagem didático-científica.

As investigações realizadas nesta tese introduzem também uma interrogação relacionada com a dificuldade demonstrada pelos estudantes nos estudos 2 e 3 de simplificar eventos reais para construir modelos científicos. Identificamos indícios de que alguns dos estudantes procuram avaliar a adequação do uso de um modelo científico para representar um evento real analisando somente se o evento modelado respeita rigorosamente as simplificações da realidade consideradas no modelo. Por exemplo, procurando avaliar se poderiam utilizar o modelo newtoniano de pêndulo simples para representar um lustre em uma igreja, em vez de analisarem se a massa da corrente de sustentação do lustre era desprezível frente à massa do próprio lustre, alguns estudantes apenas julgaram que a massa da corrente do lustre era significativa e imediatamente descartaram o uso de modelo de pêndulo simples. Esses episódios demonstraram que a capacidade de simplificar eventos reais dos estudantes depende das suas habilidades de comparar a influência de diferentes fatores sobre o comportamento do evento modelado. Desse modo, torna-se pertinente a realização de estudos futuros que investiguem como atividades voltadas para a realização de estimativas influenciam as competências dos estudantes para enfrentar situações do campo conceitual da modelagem didático-científica.

Uma última questão levantada nesta tese envolve a capacidade dos estudantes de trabalhar em equipe. As manifestações dos participantes do Estudo 3 evidenciaram que as atividades de modelagem realizadas possibilitaram que os grupos de estudantes realizassem suas investigações de maneira entusiasmada, cooperativa e sinérgica. No entanto, não foram investigadas as características das atividades que colaboraram para que os estudantes formassem equipes de trabalho colaborativas. Em função disso, é apropriado que novos estudos sejam realizados com o intuito de se investigar as relações de cooperação promovidas nas atividades de modelagem, possibilitando a compreensão dos fatores que contribuem para que os estudantes trabalhem de forma efetivamente colaborativa.

Por fim, a principal perspectiva de trabalho futura do autor desta tese é a confecção de um referencial de trabalho para professores de Física baseado nos resultados dos estudos empíricos desta tese e na concepção do campo conceitual da modelagem didático-científica estabelecida no Estudo Teórico. Possivelmente, com o objetivo de tornar a proposta mais clara e pragmática para potenciais usuários, também nos ampararemos na concepção de competência de Perrenoud (2013) para construir os fundamentos do referencial teórico. Além disso, projetamos, nesse referencial, estabelecer uma metodologia para o delineamento, a execução e a avaliação de atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica. Com isso, pretendemos contribuir com professores que desejam, assim como nós, ministrar aulas de Física em que teoria e prática sejam abordadas de forma vinculada, possibilitando que os estudantes deem sentido aos conteúdos científicos abordados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÚRIZ-BRAVO, A. A 'semantic' view of scientific models for science education. **Science & Education**, New York, v. 22, n. 7, p. 1593-1611, July 2013.

ABRAHAMS, I.; MILLAR, R. Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school Science. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 30, n. 14, p. 1945-1969, Nov. 2008.

ANDRÉS, M. M.; PESA, M.; MOREIRA, M. A. El trabajo de laboratorio en cursos de Física desde la Teoría de Campos Conceptuales. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 12, n. 2, p. 129-142, ago. 2006.

ANDRÉS, M. M.; PESA, M.; MENESES, J. Efectividad de un laboratorio guiado por el modelo de aprendizaje MATLAF para el desarrollo conceptual asociado a tareas experimentales. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 26, n. 3, p. 343-358, nov. 2008.

ANTÚNEZ, G. C.; PÉREZ, S. M.; PETRUCCI, D. Concepciones de los docentes universitarios sobre los trabajos prácticos de laboratorio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 8, n.1, 2008.

ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 30, n. 2, p. 362 - 384, ago. 2013.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Modelos computacionais no ensino-aprendizagem de física: Um referencial de trabalho. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 341-366, ago. 2012.

BAROLLI, E.; FRANZONI, M. Efeitos de intervenções docentes na condução de uma atividade experimental em um laboratório didático de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 25, n. 1, p. 35-54, abr. 2008.

BAROLLI, E.; LABURÚ, C. E.; GUIRIDI, V. M. Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de investigación. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 9, n. 1, p. 88-110, jan. 2010.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, p. 9 - 30, 2002. ed. especial.

BOULTER, C. J.; GILBERT, J. K. Challenges and opportunities of developing models in science education. In: _____ (Org.). **Developing models in science education**, New York: Kluwer Academic Publishers, 2000, p. 343-362.

BRANDÃO, R. V. **A estratégia da modelagem didático-científica reflexiva para a conceitualização do real no ensino de Física**. 2012. 230 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 10-14, maio 2008.

_____. Concepções e dificuldades dos professores de Física no campo conceitual da modelagem científica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Tandil, v. 9, n. 3, p. 669-695, out. 2010.

_____. A modelagem científica vista como um campo conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 3, p. 507-545, dez. 2011.

_____. Scientific modeling seen as a conceptual field: theoretical approach and preliminary empirical evidences of possible operational invariants on the learning of physics. In: The World Conference on Physics Education, 2012, Instambul. WCPE - Book of Abstracts. Instambul: Bahesehir Universitesi, 2012. v. 1. p. 273-282.

_____. Um estudo de caso para dar sentido à tese de que a modelagem científica pode ser vista como um campo conceitual. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Tandil, v. 9, n. 1, p. 1-21, julio 2014.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A; SILVEIRA, F. L. Validación de un cuestionario para investigar concepciones de profesores sobre ciencia y modelado científico en el contexto de la Física. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Tandil, v. 6, n. 1, p. 43-60, julio 2011.

BREWE, E. Modeling theory applied: Modeling Instruction in introductory physics. **American Journal of Physics**, Melville, v.76, n.12, p. 1155-1160, Dec. 2008.

BREWE, E.; KRAMER, L.; O'BRIEN, G. Modeling Instruction: Positive attitudinal shifts in introductory physics measured with CLASS. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, College Park, v.5, n.1, 013102 5p., June 2009.

BREWE, E.; SAWTELLE, V.; KRAMER, L.; O'BRIEN, G.; RODRIGUEZ, I.; PAMELÁ, P. Toward equity through participation in Modeling Instruction in introductory university physics. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, College Park, v.6, n.1, 010106 12p., May 2010.

BUFFLER, A.; PILLAY, S.; LUBBEN, F.; FEARICK, R. A model-based view of physics for computational activities in the introductory physics course. **American Journal of Physics**, Melville, v.76, n. 4-5, p. 431-437, April/May 2008.

BUFFLER, A.; LUBBEN, F.; IBRAHIM, B. The relationship between students' views of the nature of science and their views of the nature of scientific measurement. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 31, n. 9, p. 1137-1156, June 2009.

BREWE, E. Modeling theory applied: Modeling Instruction in introductory physics. **American Journal of Physics**, Melville, v.76, n.12, p. 1155-1160, Dec. 2008.

BRINGUIER, J. C. **Conversando com Jean Piaget**. Rio de Janeiro: DIFEL, 1978.

BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1974.

_____. **Epistemologia: Curso de atualização**. São Paulo: Editora da USP, 1980.

_____. **La investigación científica: Su estrategia e su filosofía**. Barcelona: Editora Ariel, 1989.

_____. **La Ciencia: Su método y su filosofía**. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1998.

_____. **Dicionário de Filosofia**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2006.

_____. **Caçando a realidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2010.

CARTWRIGHT, N. **How the Laws of Physics Lie**. New York: Oxford University Press, 1983.

CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no ensino de Física. In: _____. (Org.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 53-78.

CASTAÑÓN, G. A. Construtivismo, Inatismo e Realismo: compatíveis e complementares. **Ciências & Cognição**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 115-131, mar. 2007.

CHAGAS, S. M. A.; MARTINS, I. O laboratório didático nos discursos de professores de Física: heterogeneidade e intertextualidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 26, n. 3, p. 625-649, dez. 2009.

CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné**. Grenoble: La pensée Sauvage, 1991.

CHINI, J. J.; MADSEN, A.; GIRE, E.; REBELLO, N. S.; PUNTAMBEKAR, S. Exploration of factors that affect the comparative effectiveness of physical and virtual manipulatives in an undergraduate laboratory. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, College Park, v.8, n.1, 010113 12p., June 2012.

CLEMENT, J. Model Based Learning as a Key Research Area for Science Education. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 22, n. 9, p. 1041-1053, September 2000.

COELHO, S. M.; NUNES, A. D.; WIEHE, L. C. N. Formação continuada de professores numa visão construtivista: Contextos didáticos, estratégias e formas de aprendizagem no ensino experimental de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 25, n. 1, p. 7-34, abr. 2008.

COLE, P. Constructivism and scientific realism? Which is the better framework for educational research. **Australian Journal of Teacher Education**, Sidney, v. 22, n. 1, p. 41-49, March 1997.

COLL, R.; LAJIUM, D. Modeling and the future of Science learning. In: Khine, M. S.; Saleh, I. M. (Eds.). **Models and modeling: Cognitive tools for scientific enquiry**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2011, p. 3-21.

CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. esp., p. 100-125, jun. 2002.

DANUSSO, L; TESTA, I; VICENTINI, M. Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 32, n. 7, p. 871-905, May 2010.

DEACON, C.; HAJEK, A. Student perceptions of the value of physics laboratories. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 33, n. 7, p. 943-977, May 2011.

DEVELAKI, M. The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. **Science & Education**, New York, v. 16, n. 7-8, p. 725-749, Aug. 2007.

DORNELES, P. F. T.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de Eletromagnetismo em Física geral. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 18, n. 1, p. 99-122, mar. 2012.

FAZIO, C.; DI PAOLA, B.; GUASTELLA, I. Prospective elementary teachers' perceptions of the processes of modeling: A case study. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, College Park, v.8, n.1, 010110 18p., June 2012.

FIELD, A. **Discovering statistics using SPSS (and sex and drugs and rock 'n' roll)**. Dubai: SAGE Publications, 2009.

FINKELSTEIN, N.; ADAMS, W.; KELLER, C.; KOHL, P.; PERKINS, K.; PODOLEFSKY, N.; REID, S. When learning about the real world is better done virtually: a study of substituting computer simulations for laboratory equipment. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, College Park, v. 1, n. 1, 010103 8p., July 2005.

FRANCHI, A. Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In: Machado, S. D. A. et al. (Org.). **Educação Matemática: uma introdução**. São Paulo: EDUC, 1999. p. 155-195.

GASPAR, A. Cinquenta anos de ensino de física: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade de recolocar o professor no centro do processo educacional. **Educação: revista de estudos da educação**, Maceió, v.13, n. 21, p. 71-91, dez. 2004.

GIERE, R. How models are used to represent reality. **Philosophy of Science**, Chicago, v. 71, n. 5, p. 742–752, December 2004.

GILBERT, J. Models and modelling: Routes to more authentic science education. **International Journal of Science and Mathematics Education**, New York, v. 2, n. 2, p. 115-130, Jun 2004.

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

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. **Science Education**, New York, v. 86, n. 1, p. 106-121, Jan. 2002.

GOBERT, J. D.; PALLANT, A. Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks. **Journal of Science Education and Technology**, New York, v. 13, n. 1, p. 7-22, March 2004.

GUILLON, A.; SÉRÉ, M. The Role of Epistemological Information in open-ended Investigative Labwork. In: Psillos, D.; Niedderer, H. (Eds.). **Teaching and learning in science laboratory**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002, p. 121-138.

HALLOUN, I. A. Mediated modeling in Science Education. **Science & Education**, New York, v. 16, n. 7-8, p. 653–697, Aug. 2007.

HEIDEMANN, L. A. **Crenças e atitudes sobre o uso de atividades experimentais e computacionais no ensino de física por parte de professores do ensino médio**. 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Um referencial teórico-metodológico para o desenvolvimento de pesquisas sobre atitude: a Teoria do Comportamento Planejado de Icek Ajzen. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Tandil, v. 7, n. 1, p. 1-10, julio 2012a.

_____. Ciclos de Modelagem: uma alternativa para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. Especial 2, p. 965-1007, out. 2012b.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; SILVEIRA, F. L. Um Ciclo de Modelagem sobre a Lei de Resfriamento de Newton. In: XX SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2013, Curitiba. **Atas...** São Paulo: 2013.

HENZE, I.; VAN DRIEL, J. H.; VERLOOP, N. The change of science teachers' personal knowledge about teaching models and modelling in the context of science education reform. **International Journal of Science Education**, London, v. 29, n. 15, p. 1819-1846, Dec. 2007.

HESTENES, D. Modeling software for learning and doing physics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THINKING SCIENCE FOR TEACHING - THE CASE OF PHYSICS HELD IN ROME, Rome, Italy, p. 22-27, 1994.

_____. Modeling methodology for physics teachers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNDERGRADUATE PHYSICS EDUCATION, College Park, United States, p. 935-958, 1996.

_____. Notes for a Modeling Theory of Science, Cognition and Instruction. In: GIREP CONFERENCE: MODELLING IN PHYSICS AND PHYSICS EDUCATION, Amsterdam, Netherlands, 2006.

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**, Philadelphia, v. 14, n. 5, p. 541-562, May 1992.

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

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. **Science Education**, New York, v. 88, n.1, 28-54, Jan. 2004.

ISLAS, S. M.; PESA, M. ¿Qué rol asignan los profesores de Física de nivel medio a los modelos científicos y a las actividades de modelado? **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 21, n. extra, p. 57-66, 2003.

JACKSON, J.; DUKERICH, L.; HESTENES, D. Modeling Instruction: an effective model for Science Education. **Science Educator**, Indianapolis, v.17, n.1, p. 10-17, Jan. 2008.

JAIME, E. A.; ESCUDERO, C. El trabajo experimental como posible generador de conocimiento en enseñanza de la Física. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 29, n. 3, p. 371-380, dez. 2011.

JOHNSON-LAIRD, P. **Mental models**. Cambridge: Harvard University Press, 1983.

JUSTI, R. La enseñanza de Ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 24, n. 2, p. 173-184, junio 2006.

JUSTI, R. e GILBERT, J.K. Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 24, n. 4, p. 369-87, April 2002.

KARAKOSTAS, V.; HADZIDAKI, P. Realism vs. Constructivism in contemporary Physics: The impact of the debate on the understanding of Quantum Theory and its instructional process. **Science & Education**, New York, v. 14, n. 7-8, p. 607-629, November 2005.

KOPONEN, I. T. Models and modelling in Physics Education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. **Science & Education**, New York, v. 16, n. 7, pp. 751-773, Aug. 2007.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A.; KANBACH, B. G. A relação com o saber profissional do professor de Física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 305-320, dez. 2007.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. O laboratório didático a partir da perspectiva da multimodalidade representacional. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 17, n. 3, p. 721-734, out. 2011.

LEDERMAN, N. G. Nature of Science: Past, present, and future. In: Abell, S. K.; LEDERMAN, N. G. (Eds.). **Handbook of research on science education**. New York: Routledge, 2006, p. 831-879.

LIANG, L. L.; FULMER, G. W.; MAJERICH, D. M.; CLEVENSTINE, R.; HOWANSKI, R. The effects of a model-based physics curriculum program with a Physics First approach: A causal-comparative study. **Journal of Science Education and Technology**, New York, v. 21, n. 1, p. 114-124, Feb. 2012.

LOPES, J. B.; COSTA, N. The evaluation of modelling competences: Difficulties and potentials for the learning of the sciences. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 29, n. 7, p. 811-851, June 2007.

LÓPEZ-RÍOS, S.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Modelación computacional apoyada en el uso del diagrama V de Gowin para el aprendizaje de conceptos de dinámica newtoniana. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 10, n. 1, p. 202-226, 2011.

LOUCA, L; ZACHARIA, Z; CONSTANTINO, C. In Quest of productive modeling-based learning discourse in elementary school science. **Journal of Research in Science Teaching**, Hoboken, v. 48, n. 8, p. 919–951, October 2011.

LOUCA, L; ZACHARIA, Z. Modeling-based learning in Science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. **Educational Review**, Philadelphia, v. 64, n. 4, p. 471–492, November 2012.

LUNETTA, V. N.; HOFSTEIN, A.; CLOUGH, M. P. Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In: Abel, S. K.; Lederman, N. G. (Eds.). **Handbook Of Research On Science Education**. Mahwah: Routledge, 2010. cap. 15, p. 393-441.

MALONE, K. Correlations among knowledge structures, force concept inventory, and problem-solving behaviors. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, College Park, v.4, n.2, 020107 15p., November 2008.

MARINELI, F., & PACCA, J. D. A.. Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.28, n.4, out./dez. 2006.

_____. Dificuldades de estudantes em um laboratório didático: uma interpretação baseada em conceituações sobre a realidade. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Tandil, v. 9, n. 2, p. 13-27, dic. 2014.

MARTINS, R. A. Arquimedes e a coroa do rei: Problemas históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 115-121, ago. 2000.

MATTHEWS, M. Ancient and medieval timekeeping. In: _____. **Time for science education: how teaching the history and philosophy of pendulum motion can contribute to science literacy**. New York: Springer, 2000. cap. 3, p 47-76.

_____. Models in science and in science education: an introduction. **Science & Education**, New York, v. 16, n. 7-8, p. 647-652. Aug. 2007.

MAZUR, E. **Peer Instruction: A User's Manual**. Upeer Saddle River: Prentice Hall, 1997.

Modeling Instruction Program (MIP). Annual Report/2011. Arizona: Arizona State University. Disponível em: <http://modeling.asu.edu/ModInst_AnnualReport11.doc>. Acesso em: 16 fev. 2015.

MONTINO, M.; PETRUCCI, D.; URE, J. E.; ALEMAN, A.; PÉREZ, S. M. Una propuesta de trabajos prácticos de laboratorio que favorece el aprendizaje de conceptos. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 17, n. 4, p. 823-833, dez. 2011.

NELSON, M. M.; DAVIS, E. A. Preservice elementary teachers' evaluations of elementary students' scientific models: An aspect of pedagogical content knowledge for scientific modeling. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 34, n. 12, p. 1931-1959, Aug. 2012.

OH, P. S.; OH, S. J. What teachers of science need to know about models: An overview. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 33, n. 8, p. 1109-1130, May 2011.

OLIVA-MARTÍNEZ, J. M. y ARAGÓN-MÉNDEZ, M. M. Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 27, n. 2, p. 195-208. jun. 2009.

OLYMPIOU, G.; ZACHARIA, Z. Blending physical and virtual manipulatives: an effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. **Science Education**, New York, v. 96, n. 1, p. 21-47, Jan. 2012.

OTERO, M. R. Emociones, sentimientos y razonamientos en didáctica de las Ciencias. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Tandil, v. 1, n. 1, p. 24-53, oct. 2006.

PACCA, J. L. A.; SCARINCI, A. A ressignificação das atividades na sala de aula. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 13, n. 1, p. 57-62, jan-abr 2011.

PANADERO, E.; JONSSON, A. The use of scoring rubrics for formative assessment purposes revisited: A review. **Educational Research Review**, v. 9, p. 129-144, Jun. 2013.

PASSMORE, C. M.; SVOBODA, J. Exploring opportunities for argumentation in modelling classrooms. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 34, n. 10, p. 1535-1554, June 2012.

PENA, F. L. A.; RIBEIRO-FILHO, A. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 9, n.1, 2009.

PERRENOUD, P. **Desenvolver competências ou ensinar saberes? A escola que prepara para a vida**. Porto Alegre: Penso, 2013.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 213-227, set. 1999.

PORTIDES, D. P. The relation between idealisation and approximation in scientific model construction. **Science & Education**, New York, v. 16, n. 7-8, p. 699-724, Aug. 2007.

PRINS, G. T.; BULTE, A. M. W.; PILOT, A. evaluation of a design principle for fostering students' epistemological views on models and modelling using authentic practices as contexts for learning in chemistry education. **International Journal of Science Education**, Philadelphia, v. 33, n. 11, p. 1539-1569, August 2011.

RAVIOLO, A.; AGUILAR, A.; RAMÍREZ, P.; LÓPEZ, E. Dos analogías en la enseñanza del concepto de modelo científico: Análisis de las observaciones de clase. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Tandil, v. 6, n. 1, p. 61-70, julio. 2011.

RICARDO, E. C. Problematização e contextualização no ensino de Física. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. cap. 2, p. 29-51.

RONEN, M.; ELIAHU, M. Simulation: a bridge between theory and reality: the case of electric circuits. **Journal of Computer Assisted Learning**, New York, v.16, n.1, p. 14-26, Mar. 2000.

SARAIVA-NEVES, M.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da física, em sala de aula – Um estudo exploratório. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 383 – 401, dez. 2006.

SCHWARZ, C. Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry. **Science Education**, New York, v. 93, n. 4, p. 720-744, July. 2009.

SETTLE, T. B. An experiment in the history of Science. **Science**, Washington, v. 133, n. 3445, p. 19-23, January 1961.

SILVA, C. C. The role of models and analogies in the eletromagnetic theory: a historical case study. **Science & Education**, New York, v. 16, n. 7-8, p. 835-848, Aug. 2007.

SOLAZ-PORTOLÉS, J. J. Sobre cómo el conocimiento científico intenta aproximarse a la realidad. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 34, n. 1, 1308 5p., jan./mar. 2012.

SPSS. Statistical Package for the Social Sciences, 2012. [S. l.]: International Business Machines, 2012. 1 CD-ROM.

STAKE, R. E. **Investigación con estudio de casos** (2ª ed.). Madrid: Morata, 1999.

STAVER, J. Constructivism and Realism: Dueling Paradigms. In: FRASER, B.; TOBIN, K. G.; MCROBBIE, C. J. (Eds.). **Second International Handbook of Science Education**, New York: Kluwer Academic Publishers, 2012, p. 1017-1028.

TRUMPER, R. The physics laboratory – A historical overview and future perspectives. **Science & Education**, New York, v. 12, n. 7, p. 645-670, October 2003.

UHDEN, O.; KARAM, R.; PIETROCOLA, M.; POSPIECH, G. Modelling Mathematical Reasoning in Physics Education. **Science & Education**, New York, v. 21, n. 4, p. 485-506, April 2012.

VERGNAUD, G. La Théorie des Champs Conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 10, n. 2-3, p. 133-170, 1990.

_____. Teoria dos campos conceituais. In: 1º SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA DO RIO DE JANEIRO, 1993, Rio de Janeiro. **Anais...**, 1993, p. 1-26.

_____. A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. **Revista do GEMPA**, Porto Alegre: Ed. GEMPA, n. 4, p. 9-19, 1996

_____. Towards a cognitive theory of practice. In: Kilpatrick, J.; Sierpinska, A. K. (Eds.). **Mathematics Education as a Research Domain: a search of identity**. New York: Kluwer Academic Publishers, 1997, p. 227-240.

_____. A comprehensive theory of representation for mathematics education. **Journal of Mathematical Behavior**, Amsterdam, v.17, n. 2, p.167-181, 1998.

_____. The theory of conceptual fields. **Human Development**, Basel, v. 52, n. 2, p. 83-94, 2009.

_____. Forme opératoire et forme prédicative de la connaissance. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 287-304, 2012.

_____. Conceptual development and learning. **Revista Qurriculum**, San Cristóbal de La Laguna, v. 26, p. 39-59, marzo 2013a.

_____. ¿Por qué la teoría de los campos conceptuales? **Infancia y Aprendizaje**, Madrid, v. 36, n. 2, p. 131-161, 2013b.

_____. Las competencias, ¡bravo! Pero, ¿y luego? Reflexiones críticas para avanzar. In: Uribe, J. V. E. et al. (Org.). **¿Qué demonios son las competencias? Aportaciones del constructivismo clásico y contemporáneo**. Veracruz: Universidad Veracruzana, 2014. cap. XIII, p. 365-371.

VESENKA, J.; BEACH, P.; MUNOZ, G.; JUDD, F.; KEY, R. A comparison between traditional and “modeling” approaches to undergraduate physics instruction at two universities with implications for improving physics teacher preparation. **Journal of Physics Teacher Education Online**, Chicago, v.1, n.1, p. 3-7, June 2002.

VESENKA, J. Six years of Modeling workshops: Three cautionary tales. **Journal of Physics Teacher Education Online**, Chicago, v.3, n.2, p. 16-18, December 2005.

VOLKWYN, T. S.; ALLIE, S.; BUFFLER, A.; LUBBEN, F. Impact of a conventional introductory laboratory course on the understanding of measurement. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, College Park, v. 4, n. 1, 010108 10p., July 2008.

VOSNIADOU, S. Mental models in conceptual development. In: Magnani, L.; Nersessian, N. (Eds.). **Model-based reasoning: Science, technology, values**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002, p. 353-368.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. (3ª ed.). Porto Alegre: Bookman, 2005.

_____. **Qualitative research from start to finish**. New York: The Guilford Press, 2011.

WEIL-BARAIS, A.; VERGNAUD, G. Students conception in Physics and Mathematics: biases and helps. In: Caverni, J. P.; Fabre, J. M.; González, M. (Eds.). **Cognitive biases**. North Holland: Elsevier Science Publishers, 1990. p. 69-84.

WERLANG, R. B.; MACHADO, F. L.; SHIHADDEH, H. L.; MOTTA, L. F. Análise da inserção da teoria sociointeracionista em atividades de laboratório de Física básica em um curso de Geofísica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. 2: p. 246-266, ago. 2012.

WESTPHAL, M.; PINHEIRO, T. C. A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o ensino de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 585-596, dez. 2004.

ZACHARIA, Z.; ANDERSON, O. R. The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students’ conceptual understanding of physics. **American Journal of Physics**, Melville, v.71, n. 6, p. 618-629, June 2003.

ZACHARIA, Z.; CONSTANTINOU, C. Comparing the influence of physical and virtual manipulatives in the context of the Physics by Inquiry curriculum: The case of undergraduate students' conceptual understanding of heat and temperature. **American Journal of Physics**, Melville, v.76, n. 4&5, p. 425-430, April/May 2008.

ZACHARIA, Z.; OLYMPIOU, G.; PAPAEVRIPIDOU, M. Effects of experimenting with physical and virtual manipulatives on students' conceptual understanding in heat and temperature. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 45, n. 9, p. 1021-1035, Nov. 2008.

APÊNDICE A

Termo de consentimento informado e esclarecido assinado pelos participantes dos estudos

TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO E ESCLARECIDO

Eu, _____, RG _____, aluno(a) da disciplina Física Experimental II - A, 201_/1, oferecida pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, declaro por meio deste termo que me voluntario a participar da coleta de dados da pesquisa científica sobre a metodologia de ensino empregada na disciplina. A pesquisa será realizada pelo aluno de doutorado Leonardo Albuquerque Heidemann, aluno do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação dos professores Ives Solano Araujo e Eliane Angela Veit. Declaro que fui informado de que as informações coletadas a partir desta pesquisa serão utilizadas para fins acadêmicos (e.g. composição de texto para dissertação, artigos científicos, palestras, seminários, etc.), sem trazer minha identificação. Autorizo, também, para fins de divulgação dos trabalhos acadêmicos produzidos, as fotos e filmagens obtidas durante minha participação na disciplina. Ao mesmo tempo, libero a utilização destas fotos e/ou depoimentos para fins científicos e de estudos (e.g. livros, artigos, slides e transparências), em favor dos pesquisadores da pesquisa acima especificados. Estou ciente de que posso cancelar minha participação na pesquisa a qualquer momento, bastando apenas informar minha vontade ao pesquisador. Minha colaboração terá início quando eu entregar este presente termo devidamente assinado, sem quaisquer ônus financeiros a nenhuma das partes.

Porto Alegre, ____ de _____ de 201_.

Ives Solano Araujo

Eliane Angela Veit

Leonardo Albuquerque Heidemann

Assinatura do aluno participante

APÊNDICE B

Questionário utilizado no Estudo 1

Obs: As questões 1, 2 e 3 foram modificadas do pré para o pós- teste.

O objetivo deste questionário é obter um real panorama das opiniões dos estudantes de Física da UFRGS sobre as aulas de laboratório de Física. Para isso, contamos com sua colaboração.

Questões do pré-teste	Questões do pós-teste
1. Quais suas expectativas sobre a presente disciplina? Você acredita que ela vai contribuir para seu aprendizado no curso? De que forma?	1. As expectativas que você tinha no início deste semestre para a disciplina “Física Experimental II” foram alcançadas? Por quê?
2. Em relação à disciplina “Física Experimental I – A”, quais eram suas expectativas inicialmente? Eram diferentes de suas expectativas agora para essa disciplina?	2. Que modificações você promoveria nessa disciplina para os próximos semestres?
3. Em sua opinião que mudanças poderiam ser realizadas para melhorar as aulas de laboratório?	3. Quais as vantagens e as desvantagens das aulas com ciclos de modelagem? Quais as vantagens e as desvantagens das aulas tradicionais?

4. Nas tabelas abaixo são apresentadas afirmativas acompanhadas de uma escala de concordância: CONCORDO FORTEMENTE (CF); CONCORDO (C); INDECISO (I); DISCORDO (D); e DISCORDO FORTEMENTE (DF). Por favor, circule o item da escala que melhor descreve sua concordância com cada afirmativa. Evite marcar muitas vezes INDECISO (I). Caso nunca tenha participado de uma aula de laboratório de Física, passe diretamente para a segunda tabela.

Afirmação		Escala de concordância				
4.01	Sinto vontade de ir para as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
4.02	As aulas de laboratório de Física são cansativas.	CF	C	I	D	DF
4.03	Gosto de aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
4.04	Sinto que me engajo durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
4.05	Não me interesso pelas atividades desenvolvidas durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
4.06	Sinto-me à vontade durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
4.07	As atividades experimentais são importantes para se aprender Física.	CF	C	I	D	DF
4.08	Não me sinto estimulado durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF

5. As próximas quatorze afirmativas envolvem possíveis características de aulas de laboratório de Física. Por favor, circule na escala a alternativa que melhor descreve sua concordância com cada afirmativa correspondente.

Afirmção: Uma boa aula de laboratório de Física deve...		Escala de concordância				
5.01	...evidenciar a aplicabilidade dos princípios, leis, teorias e modelos da Física em situações do cotidiano e da Engenharia.	CF	C	I	D	DF
5.02	...dar liberdade para que os alunos decidam a forma como resolverão os problemas propostos nas atividades.	CF	C	I	D	DF
5.03	...promover nos estudantes habilidades para a análise estatística de dados coletados experimentalmente.	CF	C	I	D	DF
5.04	...ilustrar experimentalmente os problemas acadêmicos resolvidos nas aulas teóricas de Física.	CF	C	I	D	DF
5.05	...tornar mais claros os conceitos apresentados nas aulas teóricas de Física.	CF	C	I	D	DF
5.06	...envolver o uso de equipamentos bastante precisos e elaborados.	CF	C	I	D	DF
5.07	...ter um perfil diferenciado, mais voltado para a aplicabilidade dos princípios, leis e teorias da Física.	CF	C	I	D	DF
5.08	...focar-se especialmente em aspectos que virão a ser importantes na carreira profissional dos alunos.	CF	C	I	D	DF
5.09	...familiarizar os alunos com o método científico.	CF	C	I	D	DF
5.10	...ser planejada com o intuito de que os alunos não cometam erros e, assim, obtenham resultados diferentes dos preditos pelos modelos teóricos da Física.	CF	C	I	D	DF
5.11	...promover nos estudantes habilidades para o manuseio de equipamentos que são importantes para o desenvolvimento de experimentos em Física.	CF	C	I	D	DF
5.12	...ilustrar na prática as leis e teorias apresentadas nas aulas teóricas de Física.	CF	C	I	D	DF
5.13	...provar a eficiência das leis e teorias físicas para descrever fenômenos físicos.	CF	C	I	D	DF
5.14	...focar-se na resolução de problemas do cotidiano dos estudantes.	CF	C	I	D	DF

6. Nesta última tabela, procuramos identificar suas concepções sobre ciências, modelos e modelagem científica. Circule ao redor da alternativa na escala que melhor expressa seu posicionamento frente a cada afirmação.

Afirmção		Escala de concordância				
6.01	Para que o conhecimento científico possa emergir de observações e/ou experimentações sobre o mundo natural, o cientista deve abster-se de ideias prévias.	CF	C	I	D	DF
6.02	Só se pode afirmar que o conhecimento científico é definitivo quando há concordância entre os resultados experimentais e suas previsões em variadas condições.	CF	C	I	D	DF
6.03	O ponto de partida para a construção do conhecimento científico sempre deve ser a observação e a experimentação.	CF	C	I	D	DF
6.04	Uma importante característica do conhecimento científico é a sua falibilidade.	CF	C	I	D	DF
6.05	A observação científica sempre é realizada a partir de algum	CF	C	I	D	DF

Afirmação		Escala de concordância				
	pressuposto teórico sobre o objeto de estudo.					
6.06	Quando os cientistas se confundem, falham ou erram é porque não aplicaram adequadamente a metodologia científica.	CF	C	I	D	DF
6.07	A disputa e o conflito de ideias entre os cientistas são indesejáveis.	CF	C	I	D	DF
6.08	As leis científicas são generalizações de muitas observações e/ou experimentos.	CF	C	I	D	DF
6.09	Os resultados de observações e de experimentos são inquestionáveis, pois revelam como de fato a natureza é ou funciona.	CF	C	I	D	DF
6.10	As teorias científicas, por mais que estejam bem apoiadas na observação e na experimentação, poderão se revelar incorretas em certos domínios.	CF	C	I	D	DF
6.11	A metodologia científica só admite ideias que sejam obtidas através da observação e da experimentação.	CF	C	I	D	DF
6.12	A objetividade e a efetividade do conhecimento científico dependem da crítica e da discordância entre os cientistas.	CF	C	I	D	DF
6.13	Uma teoria deve estar em completo e total acordo com a observação e/ou experimentação.	CF	C	I	D	DF
6.14	Modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re)constrói.	CF	C	I	D	DF
6.15	Um modelo científico pode passar a representar sistemas físicos completamente diferentes daquele para o qual foi inicialmente concebido.	CF	C	I	D	DF
6.16	Modelos científicos devem ser modificados sempre que não estiverem de acordo com os dados empíricos ou com o corpo de conhecimento já estabelecido.	CF	C	I	D	DF
6.17	Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade.	CF	C	I	D	DF
6.18	A principal função de um modelo científico é a de servir como ferramenta de ensino.	CF	C	I	D	DF
6.19	Os resultados obtidos com um modelo científico jamais permitirão ir além de tudo aquilo que previamente se sabia sobre o sistema físico de interesse.	CF	C	I	D	DF
6.20	É possível construir diversos modelos científicos para o mesmo sistema físico, mas somente um será aceitável.	CF	C	I	D	DF
6.21	Há modelos científicos que permitem investigar sistemas que não existem na natureza.	CF	C	I	D	DF
6.22	Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF
6.23	Os cientistas frequentemente introduzem elementos hipotéticos, ignoram propriedades e fazem uso de entidades não observáveis na modelagem científica de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF

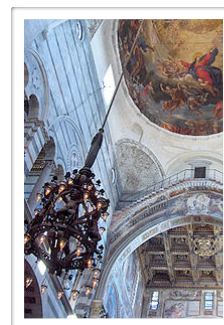
APÊNDICE C

Guia das entrevistas semiestruturadas realizadas no Estudo 1

1. Fale sobre suas aulas de laboratório de Física.
2. Fale sobre a liberdade que foi dada aos alunos durante as atividades experimentais.
3. Fale sobre as atividades experimentais com foco na modelagem científica que foram realizadas na disciplina.
4. Fale sobre as discussões finais dos ciclos de modelagem.
5. Fale sobre o uso dos quadros brancos.
6. Qual atividade experimental você considera que foi a mais proveitosa? Por quê?
7. Fale sobre o papel dos experimentos no desenvolvimento da Física.
8. Fale sobre o papel dos experimentos no Ensino de Física.
9. Que cuidados um pesquisador deve tomar durante uma investigação em Física?
10. Quais medidas devem ser tomadas quando ocorrem discrepâncias entre resultados experimentais e teóricos em uma investigação?
11. Para você, o que é uma teoria e o que é um modelo?
12. Fale sobre o que você aprendeu com as atividades experimentais com enfoque na modelagem científica.
13. Fale sobre o sistema de avaliação das disciplinas de laboratório de Física.
14. Fale das habilidades que devem ser desenvolvidas durante as aulas experimentais.
15. Fale sobre as características que julgas importantes para uma boa aula de laboratório de Física.
16. Fale sobre as vantagens e desvantagens do trabalho em grupo nas aulas de laboratório de Física.

Problemas para serem resolvidos

Problema 1: Um artista produziu um lustre. Ele pretende suspendê-lo no teto de uma grande Igreja com uma corrente. Devido às ações do vento, o lustre poderá oscilar, e quanto maior a velocidade atingida pelo pêndulo, maior será a tensão sobre a corrente que o sustenta. Desse modo, é importante que o artista tenha uma estimativa da máxima velocidade que pode ser atingida pelo lustre quando ele oscila. Suponho que você fosse contratado para fazer essa estimativa, como você procederia?



Problema 2: De modo a combater a proliferação de microrganismos, é comum o resfriamento dos alimentos depois de cozidos. Nesse processo, é importante que tal resfriamento ocorra no menor tempo possível. No caso de um molho de tomate, por exemplo, é recomendado que a temperatura de 10°C seja atingida em, no máximo, duas horas. De que modo um fabricante de molhos pode otimizar o resfriamento dos seus produtos? Como ele pode estimar a temperatura deles com o passar do tempo?



APÊNDICE D

Resultados das questões objetivas dos pré e pós-teste do Estudo 1

Os resultados apresentados se referem às aplicações do questionário exposto no Apêndice B como pré e pós-teste no desenvolvimento do Estudo Empírico 1. De modo a sintetizarmos os dados coletados, atribuímos os índices 1, 2, 3, 4 e 5 para as respostas “discordo fortemente”, “discordo”, “indeciso ou sem opinião”, “concordo” e “concordo fortemente”, respectivamente. Assim, os dados que apresentamos nas tabelas abaixo se referem às médias das respostas dos alunos. As significâncias estatísticas apresentadas são dadas pelo teste de Wilcoxon pareado (FIELD, 2011).

Afirmação: Uma boa aula de laboratório de Física deve...		Pré-Teste		Pós-Teste		Sig.
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
5.01	...evidenciar a aplicabilidade dos princípios, leis, teorias e modelos da Física em situações do cotidiano e da Engenharia.	4,64	0,50	4,62	0,65	0,564
5.02	...dar liberdade para que os alunos decidam a forma como resolverão os problemas propostos nas atividades.	4,21	0,70	4,54	0,52	0,096
5.03	...promover nos estudantes habilidades para a análise estatística de dados coletados experimentalmente.	4,43	0,51	4,54	0,66	0,527
5.04	...ilustrar experimentalmente os problemas acadêmicos resolvidos nas aulas teóricas de Física.	4,36	0,75	4,54	0,66	0,257
5.05	...tornar mais claros os conceitos apresentados nas aulas teóricas de Física.	4,64	0,50	4,62	0,51	0,564
5.06	...envolver o uso de equipamentos bastante precisos e elaborados.	4,00	1,09	3,08	0,95	0,008
5.07	...ter um perfil diferenciado, mais voltado para a aplicabilidade dos princípios, leis e teorias da Física.	4,43	0,43	3,92	0,86	0,084
5.08	...focar-se especialmente em aspectos que virão a ser importantes na carreira profissional dos alunos.	3,50	1,27	2,85	1,07	0,170
5.09	...familiarizar os alunos com o método científico.	4,79	1,05	4,69	0,48	0,317
5.10	...ser planejada com o intuito de que os alunos não cometam erros e, assim, obtenham resultados diferentes dos preditos pelos modelos teóricos da Física.	3,07	0,52	1,85	0,69	0,010
5.11	...promover nos estudantes habilidades para o manuseio de equipamentos que são importantes para o desenvolvimento de experimentos em Física.	4,21	1,03	4,00	0,91	0,157
5.12	...ilustrar na prática as leis e teorias apresentadas nas aulas teóricas de Física.	4,50	1,02	4,54	0,52	1,000
5.13	...provar a eficiência das leis e teorias físicas para descrever fenômenos físicos.	4,14	0,65	3,54	1,13	0,014

Afirmação: Uma boa aula de laboratório de Física deve...		Pré-Teste		Pós-Teste		Sig.
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
5.14	...focar-se na resolução de problemas do cotidiano dos estudantes.	3,43	0,52	2,85	1,41	0,131

Afirmação		Pré-Teste		Pós-Teste		Sig.
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
6.01	Para que o conhecimento científico possa emergir de observações e/ou experimentações sobre o mundo natural, o cientista deve abster-se de ideias prévias.	3,36	1,28	3,15	1,46	0,378
6.02	Só se pode afirmar que o conhecimento científico é definitivo quando há concordância entre os resultados experimentais e suas previsões em variadas condições.	3,43	1,16	2,62	1,26	0,046
6.03	O ponto de partida para a construção do conhecimento científico sempre deve ser a observação e a experimentação.	3,00	1,52	2,38	0,87	0,234
6.04	Uma importante característica do conhecimento científico é a sua falibilidade.	3,64	1,28	4,23	0,44	0,057
6.05	A observação científica sempre é realizada a partir de algum pressuposto teórico sobre o objeto de estudo.	3,00	1,04	3,08	1,26	1,000
6.06	Quando os cientistas se confundem, falham ou erram é porque não aplicaram adequadamente a metodologia científica.	2,21	1,19	2,62	1,19	0,336
6.07	A disputa e o conflito de ideias entre os cientistas são indesejáveis.	1,57	0,76	1,69	0,86	0,564
6.08	As leis científicas são generalizações de muitas observações e/ou experimentos.	3,71	1,14	3,85	0,80	0,666
6.09	Os resultados de observações e de experimentos são inquestionáveis, pois revelam como de fato a natureza é ou funciona.	1,92	0,86	2,00	0,91	1,000
6.10	As teorias científicas, por mais que estejam bem apoiadas na observação e na experimentação, poderão se revelar incorretas em certos domínios.	4,62	0,51	4,62	0,50	1,000
6.11	A metodologia científica só admite ideias que sejam obtidas através da observação e da experimentação.	2,77	0,83	2,54	1,20	0,429
6.12	A objetividade e a efetividade do conhecimento científico dependem da crítica e da discordância entre os cientistas.	3,85	0,99	4,08	0,95	0,546
6.13	Uma teoria deve estar em completo e total acordo com a observação e/ou experimentação.	3,62	1,19	3,23	1,17	0,160
6.14	Modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re)constrói.	4,08	0,76	4,46	0,66	0,059

Afirmação		Pré-Teste		Pós-Teste		Sig.
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
6.15	Um modelo científico pode passar a representar sistemas físicos completamente diferentes daquele para o qual foi inicialmente concebido.	4,08	0,76	4,08	0,86	0,914
6.16	Modelos científicos devem ser modificados sempre que não estiverem de acordo com os dados empíricos ou com o corpo de conhecimento já estabelecido.	4,08	0,76	2,85	1,28	0,006
6.17	Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade.	2,85	0,90	2,23	1,36	0,142
6.18	A principal função de um modelo científico é a de servir como ferramenta de ensino.	2,92	1,26	2,69	1,25	0,518
6.19	Os resultados obtidos com um modelo científico jamais permitirão ir além de tudo aquilo que previamente se sabia sobre o sistema físico de interesse.	1,69	0,86	2,08	1,17	0,163
6.20	É possível construir diversos modelos científicos para o mesmo sistema físico, mas somente um será aceitável.	2,62	1,19	2,31	1,25	0,331
6.21	Há modelos científicos que permitem investigar sistemas que não existem na natureza.	3,69	1,18	3,15	1,40	0,388
6.22	Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos.	3,23	1,01	2,31	0,95	0,006
6.23	Os cientistas frequentemente introduzem elementos hipotéticos, ignoram propriedades e fazem uso de entidades não observáveis na modelagem científica de sistemas físicos.	3,38	1,39	4,00	1,16	0,111

APÊNDICE E

Questionário 1 utilizado no Estudo 2

Com as três primeiras questões deste questionário buscamos obter um panorama das habilidades dos ingressantes da disciplina “Física Experimental II” para modelarem situações físicas. Suas respostas não serão consideradas como avaliação para essa disciplina. Nosso intuito é coletar informações para planejarmos uma disciplina mais adequada para você. Para isso, contamos com sua colaboração.

1. Você foi designado para investigar um acidente de trânsito. Uma criança foi atropelada, e você precisa estimar a velocidade do carro que a atropelou imediatamente antes do seu motorista acionar os freios. Pelas marcas no asfalto, sabe-se que as rodas foram travadas, possibilitando assim se medir a distância percorrida pelo automóvel durante a frenagem. Um perito que o ajuda na investigação lhe forneceu a aceleração do automóvel durante a frenagem que ele inferiu por meio de avaliações sobre as condições do acidente e de consultas de suas tabelas técnicas. Essas são as informações que você terá disponíveis para o desenvolvimento do seu trabalho. As questões que seguem referem-se às características da sua investigação.

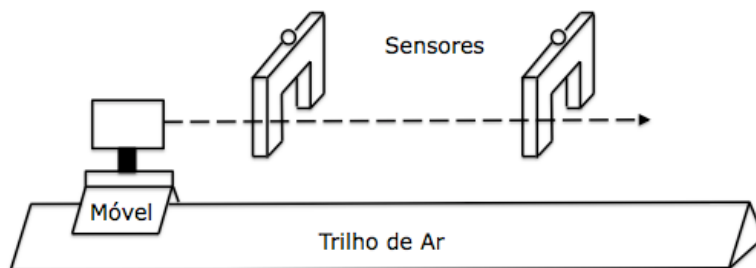
- a. Quais objetos da realidade (ex.: estrada, motorista, vítima, carro etc.) você precisaria levar em conta?
- b. Quais variáveis e parâmetros você consideraria?
- c. Você precisaria realizar alguma simplificação da realidade? Se sim, qual(is)?
- d. Qual(is) modelo(s) você usaria?
- e. Alguma representação do movimento do automóvel seria útil para facilitar o entendimento do seu raciocínio? Se sim, esboce-a. Em caso negativo, justifique.
- f. Que eventos relacionados ao acidente poderiam impossibilitar o uso do modelo que você utilizou para investigá-lo?

2. Sabemos que o ar exerce uma força resistiva sobre corpos em queda. Suponha que você deseje avaliar experimentalmente o comportamento dessa força.

- a. Que experimento você realizaria? Represente-o esquematicamente.
- b. Que variáveis e parâmetros seriam importantes nesse experimento?
- c. Em sua análise seriam feitas simplificação da realidade?
- d. Que instrumentos de medida seriam usados?
- e. Quais as fontes de incerteza desse experimento?

3. Os dados da tabela referem-se às medidas realizadas por meio de sensores eletrônicos da posição de um carrinho que deslizou sobre um trilho de ar semelhante ao apresentado na figura.

Tempo (s)	Posição (cm)
0,00	0,0
0,84	20,0
1,63	40,0
2,43	60,0
3,10	80,0
3,75	100,0



- Analise os dados apresentados à luz de um modelo da Física. Para isso, utilize as representações que julgar necessárias.
- Para realizar a sua análise, quais as suposições sobre o experimento realizado você considerou?
- Há discrepâncias entre os valores medidos nesse experimento e os valores preditos pelo modelo que você utilizou na sua análise? Se sim, por quê?

4. Com as próximas 14 questões buscamos identificar suas concepções sobre modelagem científica e sobre a atividade experimental em Física. Gostaríamos de saber como você se posiciona em relação a cada uma das afirmações apresentadas. Para tanto, você deve expressar, em uma escala de cinco pontos, a extensão da sua concordância com cada uma das afirmações que serão apresentadas. Os cinco pontos são: CONCORDO FORTEMENTE (CF); CONCORDO (C); INDECISO (I); DISCORDO (D); e DISCORDO FORTEMENTE (DF). Faça um círculo ao redor da alternativa que melhor expressa seu posicionamento frente a cada uma das afirmações. Evite marcar muitas vezes INDECISO (I).

Afirmação		Escala de concordância				
4.01	Modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re) constrói.	CF	C	I	D	DF
4.02	Um modelo científico pode passar a representar sistemas físicos completamente diferentes daquele para o qual foi inicialmente concebido.	CF	C	I	D	DF
4.03	Modelos científicos devem ser modificados sempre que não estiverem de acordo com os dados empíricos ou com o corpo de conhecimento já estabelecido.	CF	C	I	D	DF
4.04	Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade.	CF	C	I	D	DF
4.05	A principal função de um modelo científico é a de servir como ferramenta de ensino.	CF	C	I	D	DF
4.06	Os resultados obtidos com um modelo científico jamais permitirão ir além de tudo aquilo que previamente se sabia sobre o sistema físico de interesse.	CF	C	I	D	DF
4.07	É possível construir diversos modelos científicos para o mesmo sistema físico, mas somente um será aceitável.	CF	C	I	D	DF

Afirmção		Escala de concordância				
4.08	Há modelos científicos que permitem investigar sistemas que não existem na natureza.	CF	C	I	D	DF
4.09	Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF
4.10	Os cientistas frequentemente introduzem elementos hipotéticos, ignoram propriedades e fazem uso de entidades não observáveis na modelagem científica de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF

APÊNDICE F

Questionário 2 utilizado nos estudos 2 e 3

Obs: As questões 1, 2, 3 e 4 foram modificadas do teste inicial para o teste final. A questão 5 só esteve presente no teste final respondido pelos alunos ao término da disciplina.

O objetivo deste questionário é obter um real panorama das opiniões dos estudantes de Física da UFRGS sobre as aulas de laboratório de Física. Para isso, contamos com sua colaboração.

Questões do teste inicial	Questões do teste final
<p>1. Quais suas expectativas sobre a presente disciplina? Você acredita que ela vai contribuir para seu aprendizado no curso? De que forma?</p> <p>2. Em relação à disciplina “Física Experimental I – A”, quais eram suas expectativas inicialmente? Eram diferentes de suas expectativas agora para essa disciplina?</p> <p>3. Em sua opinião que mudanças poderiam ser realizadas para melhorar as aulas de laboratório?</p> <p>4. As próximas questões deste questionário serão objetivas. As oito primeiras delas buscam avaliar o seu sentimento em relação à aulas de laboratório de Física. Para tanto, você deve expressar, em uma escala de cinco pontos, a extensão da sua concordância com cada uma das afirmações que serão apresentadas. Os cinco pontos são: CONCORDO FORTEMENTE (CF); CONCORDO (C); INDECISO (I); DISCORDO (D); e DISCORDO FORTEMENTE (DF). Evite marcar muitas vezes INDECISO (I).</p>	<p>1. As expectativas que você tinha no início deste semestre para a disciplina “Física Experimental II” foram alcançadas? Por quê?</p> <p>2. Que modificações você promoveria nessa disciplina para os próximos semestres?</p> <p>3. Quais as vantagens e as desvantagens das aulas com ciclos de modelagem? Quais as vantagens e as desvantagens das aulas tradicionais?</p> <p>4. As próximas questões deste questionário serão objetivas. As oito primeiras delas buscam avaliar o seu sentimento em relação à AULAS DE LABORATÓRIO DE FÍSICA DESENVOLVIDAS COM ATIVIDADES DE MODELAGEM na disciplina de "Física Experimental II - A" no semestre 2013/1. Para tanto, você deve expressar, em uma escala de cinco pontos, a extensão da sua concordância com cada uma das afirmações que serão apresentadas. Os cinco pontos são: CONCORDO FORTEMENTE (CF); CONCORDO (C); INDECISO (I); DISCORDO (D); e DISCORDO FORTEMENTE (DF). Evite marcar muitas vezes INDECISO (I).</p>

Afirmação		Escala de concordância				
4.01	Sinto vontade de ir para as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
4.02	As aulas de laboratório de Física são cansativas.	CF	C	I	D	DF
4.03	Gosto de aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
4.04	Sinto que me engajo durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
4.05	Não me interesso pelas atividades desenvolvidas durante as	CF	C	I	D	DF

	aulas de laboratório de Física.					
4.06	Sinto-me à vontade durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
4.07	As atividades experimentais são importantes para se aprender Física.	CF	C	I	D	DF
4.08	Não me sinto estimulado durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF

5. Nas próximas oito questões, queremos que você expresse o seu sentimento em relação à AULAS DE LABORATÓRIO DE FÍSICA TRADICIONAIS, ou seja, que foram conduzidas sem atividades de modelagem tanto na disciplina de "Física Experimental II - A" neste semestre como em outras disciplinas que você já cursou. Novamente, você deve expressar a extensão da sua concordância com cada uma das afirmações que serão apresentadas.

Afirmação		Escala de concordância				
5.01	Sinto vontade de ir para as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
5.02	As aulas de laboratório de Física são cansativas.	CF	C	I	D	DF
5.03	Gosto de aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
5.04	Sinto que me engajo durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
5.05	Não me interessa pelas atividades desenvolvidas durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
5.06	Sinto-me à vontade durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF
5.07	As atividades experimentais são importantes para se aprender Física.	CF	C	I	D	DF
5.08	Não me sinto estimulado durante as aulas de laboratório de Física.	CF	C	I	D	DF

APÊNDICE G

Instruções para a confecção de relatórios experimentais usadas pelos estudantes nos estudos 2 e 3

Diretrizes para a Elaboração de Relatórios de Física Experimental

Relatórios de atividades experimentais têm três funções principais. Eles devem fornecer (Baylon, 2012):

- 1.Registros das experiências,
- 2.Informações suficientes para se reproduzir ou expandir os resultados alcançados com os experimentos, e
- 3.Uma análise dos dados coletados, apresentando conclusões e recomendações com base no trabalho experimental.

Portanto, um relatório experimental deve ser redigido imaginando que o leitor não realizou o experimento relatado, mas que tenha informações suficientes para poder reproduzi-lo (Cybulska & Rodrigues, 2012)!

Seções de um Relatório

Usualmente, um relatório experimental apresenta seis seções básicas: *introdução, referencial teórico, delineamento experimental, resultados, análise dos resultados, e conclusões*. No entanto, essa estrutura não deve ser tratada como algo inflexível; o autor deve ter liberdade para definir as seções e subseções do seu relatório. Por exemplo, dependendo das características do experimento relatado, o desmembramento de uma dessas seções em duas ou mais seções pode melhorar a organização ou a fluência do relatório.

O *resumo* deve sintetizar as informações relevantes do relatório com começo, meio e fim. **É de suma importância que o resumo não seja confundido com a introdução do trabalho.** Apresentaremos aqui alguns dos aspectos mais importantes de um bom resumo para um relatório, assim como de cada uma das seções mencionadas. Cabe ressaltar, no entanto, que alguns desses aspectos podem não se aplicar para determinadas atividades experimentais. Assim como as seções que sugerimos, os parágrafos que seguem devem ser entendidos como orientações para guiar a redação e não como regras rígidas de como deva obrigatoriamente se redigir um relatório experimental.

I. Resumo: O objetivo de um resumo em um trabalho científico é auxiliar o leitor a decidir se o relatório é de seu interesse, sem precisar lê-lo integralmente. Para isso, o resumo deve apresentar o objetivo do experimento, o referencial teórico utilizado, o delineamento experimental, os resultados obtidos e as conclusões do trabalho de forma **breve e sintética**. Inspirado em Baylon (2012), um exemplo de um resumo com essa estrutura é apresentado abaixo.

Objetivo do Experimento	<i>O objetivo da experiência descrita neste relatório foi a mensuração da constante elástica k de uma mola de aço por meio de dois diferentes métodos, possibilitando uma avaliação do grau de precisão da Lei de Hooke em dois âmbitos diferentes.</i>
Referencial Teórico	<i>Tal lei estabelece uma relação de proporcionalidade entre a magnitude de uma força elástica restauradora de uma mola e o deslocamento de uma de suas extremidades.</i>
Delineamento Experimental	<i>Primeiramente, foi investigada a relação entre a força aplicada à mola e a alongação da sua extremidade móvel quando o sistema está em repouso.</i>
Resultados	<i>A análise dos dados coletados nesse experimento forneceu um valor de $(3,40 \pm 0,01)$ N/m para a constante elástica da mola investigada.</i>
Delineamento Experimental	<i>Em seguida, foi medido o período de corpos suspensos na mola quando postos a oscilar verticalmente.</i>
Resultados	<i>Verificou-se que o período de oscilação se relaciona com a massa do corpo suspenso na mola e que o período do movimento é independente da amplitude da oscilação. A análise dos dados coletados por meio desse método forneceu um valor de $(3,42 \pm 0,02)$ N/m para a constante elástica da mola.</i>
Conclusões	<i>Esse valor é consistente com o resultado obtido com o primeiro método. O bom ajuste dos modelos que foram construídos usando a lei de Hooke aos dados coletados evidenciam que tais modelos apresentam boa precisão para descrever as situações físicas investigadas.</i>

O delineamento experimental não deve ser apresentado com excessivo detalhamento, como exemplificado abaixo, na coluna da esquerda.

Inadequado	Adequado
<i>Suspenderam-se na mola corpos de 0,01 kg, 0,02 kg, 0,03 kg, 0,04 kg, 0,05 kg, 0,06 kg, 0,07 kg e 0,08 kg, e registraram-se seus deslocamentos verticais. Para minimizar a incerteza dos dados coletados, foram feitas quatro medidas para cada corpo pendurado e</i>	<i>Suspendendo diversas massas distintas em uma mola de aço, investigou-se a relação entre a sua alongação e a intensidade das forças que são aplicadas em sua extremidade (o número de medidas realizadas ficará claro na tabela contendo os valores obtidos).</i>

utilizada a média desses quatro valores. Nesse método, a principal fonte de incerteza é consequência da medição realizada manualmente por meio de uma régua.

Lembre-se de ser conciso! Cabe ressaltar novamente que o resumo não pode ser confundido com a introdução do trabalho. Desse modo, é fundamental que as conclusões do experimento sejam também apresentadas no resumo.

II. Introdução: A introdução de um relatório deve **contextualizar o experimento**, apresentando sua justificativa, as **questões que se buscam responder com ele**. Deve(m) ser destacada(s) a(s) **relação(ões) entre variáveis** que foi(ram) avaliada(s), o motivo pelo qual você entendia que existiam relação(ões) entre essas variáveis, assim como a(s) relação(ões) que você cogitava existir entre essas variáveis antes do desenvolvimento do experimento. É desejável que sejam apresentadas também reflexões sobre possíveis resultados que contrariariam suas predições. Apresentamos abaixo um exemplo de um parágrafo típico de uma introdução de um relatório experimental que envolve a exploração da Lei de Hooke.

Contextualização	<i>A Lei de Hooke estabelece uma relação entre a força exercida por uma mola e a sua alongação. No entanto, ela é postulada considerando-se uma mola de massa desprezível e alongações localizadas dentro do regime elástico da mesma.</i>
Questão de pesquisa/	<i>Neste trabalho, buscamos responder à seguinte questão: Em que condições a Lei de Hooke se mostra mais adequada para descrever variações das forças exercidas por molas de aço em função de suas alongações?</i>
Relação entre variáveis investigada	<i>Para tanto investigamos a relação entre a força aplicada a uma mola e a deformação produzida na mesma.</i>

Lembre-se de apresentar sua questão de pesquisa de forma clara.

III. Referencial Teórico: Todo experimento científico é dirigido por um **modelo teórico de referência** tanto no seu delineamento como na análise dos seus dados coletados, e a seção “referencial teórico” é especialmente destinada para a apresentação desse modelo teórico. Para isso, é necessário se explicitar como os **princípios e/ou as leis teóricas gerais da Física** são utilizadas na construção desse modelo, ou seja, dessa representação simplificada da situação física investigada. Nesse processo, dois aspectos sobre a modelagem realizada precisam ser especialmente ressaltados: i) os **objetos da realidade** que foram efetivamente considerados; e ii) as implicações que as **simplificações da realidade** consideradas tiveram sobre o modelo teórico de referência. Um

exemplo de um parágrafo típico dessa seção em um relatório que envolve o estudo de um pequeno carro que desce sobre uma tábua inclinada é apresentado abaixo.

	<p>Modelo <i>Da mecânica newtoniana, sabemos que:</i></p> $\sum F = m.a , \tag{1}$ <p><i>onde o $\sum F$ é o somatório das forças que agem sobre um corpo, m é a massa desse corpo e a é a sua aceleração.</i></p>
<p>Construção do modelo teórico de referência</p>	<p><i>Idealizando que a tábua pode ser considerada plana, ou seja, que ela tem inclinação constante, que o momento de inércia das rodas do carro é desprezível, que a força gravitacional sobre o carro é constante durante todo o seu movimento, e que as forças resistivas que agem sobre ele são desprezíveis, temos:</i></p> $\sum F = m.g.\text{sen}\theta , \tag{2}$ <p><i>onde g é a intensidade do campo gravitacional local e θ é o ângulo formado entre o plano inclinado e uma eixo horizontal.</i></p> <p><i>Das equações (1) e (2), temos:</i></p> $a = g.\text{sen}\theta . \tag{3}$
<p>Objetos da realidade considerados</p>	<p><i>Desse modo, somente consideramos nesse modelo teórico os seguintes objetos da realidade: o carro, a tábua inclinada e a Terra.</i></p>

IV. Delineamento Experimental: O modelo teórico de referência, apresentado na seção anterior, é um dos aspectos que orienta o delineamento do seu experimento, e isso precisa ser destacado. Não se pode esquecer de ressaltar as **grandezas que são controladas** no experimento em função das simplificações que foram consideradas no seu modelo de referência. Em relação ao **procedimento de coleta de dados**, é importante se explicitar o **arranjo experimental utilizado**, assim como se destacar os **instrumentos** que foram utilizados para se medir cada uma das grandezas de interesse do experimento. Apresentamos um parágrafo típico sobre o delineamento experimental de um relatório.

<p>Procedimento de coleta de dados</p>	<p><i>Suspendemos na mola corpos com oito diferentes massas que variavam de $(0,010 \pm 0,005)$ kg a $(0,080 \pm 0,005)$ kg, com incrementos de $(0,010 \pm 0,005)$ kg, e registramos seus deslocamentos verticais por meio de uma régua de 30 cm.</i></p>
<p>Grandezas</p>	<p><i>As massas dos corpos suspensos foram escolhidas de modo a não alongar</i></p>

controladas | demasiadamente a mola, evitando que ela extrapole o domínio de seu regime elástico, ou seja, onde a sua elongação é diretamente proporcional à força aplicada à sua extremidade móvel.

V. Resultados: Aqui você deve apresentar os **dados coletados** organizados em representações que facilitem sua análise (tabelas, gráficos, diagramas). Não se pode esquecer de explicitar as **incertezas das medidas** coletadas e de apresentar os dados com o número de **algarismos significativos** adequados. Tabelas e gráficos devem ser numerados e acompanhados de **legenda**. Nas tabelas, costuma-se colocar as legendas acima delas sem recuo em relação à lateral esquerda da página. Para os gráficos, o usual é inseri-las abaixo e centralizadas. Além disso, as tabelas e os gráficos devem ser citados no corpo do texto do relatório. Alguns aspectos importantes dos gráficos apresentados nos relatórios são destacados na Figura 1.

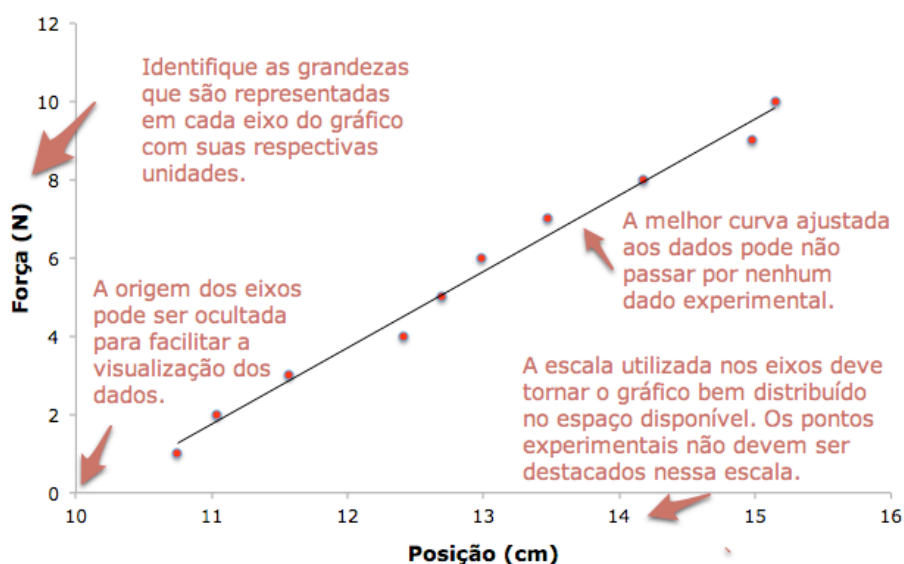


Figura 1 – Aspectos importantes dos gráficos apresentados em relatórios.

VI. Análise dos Resultados: Essa é talvez a seção mais importante de um relatório experimental. É nesse ponto do trabalho que é apresentada uma **análise** dos dados experimentais pautando-se no referencial teórico apresentado anteriormente e nas questões de pesquisa da atividade experimental. Tal tarefa é facilitada se as equações apresentadas forem numeradas e se os dados forem organizados em representações adequadas (tabelas, gráficos, diagramas, etc.). A **análise estatística das medidas** realizadas é importante, incluindo o cálculo das **incertezas propagadas** das medidas (para dúvidas, sugerimos o uso do material apresentado em Corradi *et al.*, 2008 ou em Lima Junior *et al.*, 2012), mas não substitui a interpretação física dos resultados. Abaixo, apresentamos um exemplo de parágrafo típico de uma seção de resultados de um relatório experimental.

Análise dos dados coletados | O gráfico de $T^2 \times M$ se aproxima de uma reta, o que é consistente com o modelo teórico que utilizamos (Eq. 2). A constante k , obtida por meio da

declividade dessa reta, foi de $(3,01 \pm 0,02)$ N/m. Para pequenas massas, o período da oscilação foi mais curto, o que também é consistente com a Eq. 2.

VII. Considerações Finais: Nesse seção você deve apresentar suas conclusões analisando-as brevemente e procurando explicar os motivos pelos quais existem discrepâncias entre as possíveis predições do modelo teórico utilizado e os dados experimentais, ou entre diferentes métodos experimentais que tenham sido empregados para se medir as mesmas grandezas. Em outras palavras, deve-se analisar a **adequação dos modelos teóricos e dos procedimentos experimentais utilizados** na investigação, avaliando-se as **fontes de incerteza** do experimento. Para isso, sempre leve em consideração as incertezas das suas medidas. É fundamental que só sejam apresentadas conclusões **pautadas em evidências** experimentais. Possíveis “dicas” para o caso de o leitor decidir por reproduzir ou expandir seus dados são importantes e também podem ser exploradas aqui. É desejável também que sejam propostas perspectivas futuras para o trabalho por meio de sugestões de **mudanças que poderiam ser realizadas** para a obtenção de dados mais precisos e de **outros experimentos** que poderiam ser realizados em uma possível busca por mais evidências relacionadas com a(s) questão(ões) de pesquisa da investigação. Apresentamos alguns exemplos de parágrafos típicos das considerações finais de um relatório experimental.

Avaliação da adequação do modelo teórico	<i>O modelo teórico de sistema massa-mola se mostrou consistente para descrever as relações entre as principais grandezas do fenômeno estudado. Incrementos na massa do corpo suspenso na mola acarretaram num aumento no período de oscilação do sistema. Além disso, a declividade do gráfico de $T^2 \times M$ forneceu um valor para a constante elástica da mola coerente com o valor obtido pelo método em que o sistema estava em repouso.</i>
Dificuldades enfrentadas no desenvolvimento do experimento	<i>A medida dos períodos mais curtos, para corpos suspensos com pequenas massas, foi um tanto crítica e difícil, pois o retardo do acionamento manual do cronômetro tornava-se da ordem do período de oscilação do sistema. Possivelmente é por esse motivo que os períodos medidos foram pouco consistentes com o modelo teórico quando os corpos suspensos somavam a massa de $(50 \pm 0,005)$ g.</i>
Recomendações para o leitor	<i>Tivemos dificuldade para medir o período de oscilação do sistema quando tentávamos acionar o cronômetro na posição em que o corpo suspenso estava em sua máxima amplitude, ou seja, em repouso. Com isso, percebemos que um melhor resultado era obtido quando acionávamos o</i>

	<p><i>cronômetro na posição em que a velocidade do corpo era máxima, ou seja, quando sua amplitude era nula, pois esse ponto do movimento nos parecia mais definido do que em suas extremidades, quando não conseguíamos determinar exatamente quando o corpo estava com velocidade nula.</i></p>
Fontes de incerteza	<p><i>O fato do modelo adotado tomar como pressuposto que a mola utilizada está no regime elástico, que a massa da mola é desprezível, que o movimento de oscilação é unidimensional, e que a força resistiva com o ar é desprezível, resulta em uma diferença entre os resultados preditos e os dados experimentais. Além disso, deve-se destacar que as incertezas experimentais também são resultantes dos retardos de acionamento manual do cronômetro, durante as medidas do período de oscilação do sistema massa-mola.</i></p>
Conclusão Final/ Perspectivas Futuras	<p><i>A análise dos resultados da atividade experimental relatada neste trabalho evidenciam que o modelo de sistema massa-mola tem boa precisão para descrever o período de corpos que oscilam em molas de massas desprezíveis com amplitudes pequenas. Pode-se verificar também que o modelo teórico utilizado apresentava menor precisão quando o corpo investigado oscilava com grandes amplitudes. Um possível próximo passo para se explorar a lei de Hooke seria a realização de uma avaliação sobre como a razão entre a massa das molas e as massas dos corpos suspensos influencia na incerteza experimental do período de oscilação desses sistemas. Outra possibilidade seria a avaliação de como a amplitude de oscilação dos sistemas massa-mola influenciam nos seus amortecimentos.</i></p>

Aspectos Gerais:

- Um dos requisitos mais importantes para um relatório de laboratório é a **clareza**. Imagine que seu público é formado por alguns de seus colegas de classe que não realizaram essa experiência e queiram reproduzi-la, ou ainda, você mesmo daqui a 10 anos.
- Se você estiver usando um editor de texto, use as ferramentas de **correção ortográfica**. Erros ortográficos e gramaticais grosseiros diminuem dramaticamente a credibilidade do seu relatório.
- Não é aceitável escrever um relatório na primeira pessoa do singular. O uso da primeira do plural é aceitável, mas o recomendável e usual é que os trabalhos sejam redigidos de forma impessoal. Por exemplo, ao contrário do uso da expressão “eu medi o período de oscilação”, costuma-se utilizar “foi medido o período de oscilação”.
- Nunca esqueça das **unidades** das grandezas físicas.

- Procure sempre começar uma seção com um **parágrafo introdutório** apresentando o que vai ser exposto.
- Cuidado com os **algarismos significativos**. Sempre calcule o desvio padrão de suas medidas e leve em consideração a precisão dos instrumentos de medida para analisar até que ponto suas medidas são confiáveis. Calcule as incertezas propagadas e de suas medidas e apresente as grandezas derivadas de suas medidas com o número de algarismos significativos adequados e as correspondentes incertezas.

LEIA MAIS!

Baylor University (2012). Guidelines for a Physics lab reports. Disponível em: <http://www.baylor.edu/content/services/document.php/110769.pdf>. Acesso em: 09/02/2014.

Corradi, W.; Vieira, S. L. A.; Társia, R. D.; Balzuweit, K.; Fonseca, L. & Oliveira, W. S. (2008). Física Experimental. Belo Horizonte: Editora da UFMG. Disponível em: http://www13.fisica.ufmg.br/~wag/transf/LIVRO_FEBIO_21AGO2009_2PP.pdf. Acesso em: 09/02/2014.

Cybulska, E. W. & Rodrigues, M. R. D. (2012). Como escrever um bom relatório. Disponível em: <http://social.stoa.usp.br/fep1132008/notas-de-aula/comoescreverumrelatorio.pdf?view=true>. Acesso em: 09/02/2014.

Lima Junior, P.; Silveira, F. L.; Silva, M. T. X. & Veit, E. A. (2013). *Laboratório de mecânica: subsídios para o ensino de Física Experimental [recurso eletrônico]*. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/cref/labmecanica/Lima_Jr_et_al_2013.pdf. Acesso em: 09/02/2014.

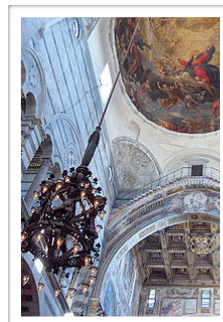
APÊNDICE H

Guia das entrevistas semiestruturadas previstas para o Estudo 2

1. Fale sobre suas aulas de laboratório de Física.
2. Fale sobre a liberdade que foi dada aos alunos durante as atividades experimentais.
3. Fale sobre as atividades de modelagem que foram realizadas na disciplina.
4. Fale sobre as discussões finais das atividades de modelagem.
5. Fale sobre o que você aprendeu com atividades de modelagem.
6. Qual atividade experimental você considera que foi a mais proveitosa? Por quê?
7. Fale sobre o sistema de avaliação das disciplinas de laboratório de Física.
8. Fale sobre o que você entende por modelos.
9. Fale sobre o que você entende por modelagem.
10. Fale sobre o papel dos experimentos no Ensino de Física.
11. Que cuidados um pesquisador deve tomar durante uma investigação em Física?
12. Quais medidas devem ser tomadas quando ocorrem discrepâncias entre resultados experimentais e teóricos em uma investigação?

Problemas para serem resolvidos

Problema 1: Um artista produziu um lustre. Ele pretende suspendê-lo no teto de uma grande Igreja com uma corrente. Devido às ações do vento, o lustre poderá oscilar, e quanto maior a velocidade atingida pelo pêndulo, maior será a tensão sobre a corrente que o sustenta. Desse modo, é importante que o artista tenha uma estimativa da máxima velocidade que pode ser atingida pelo lustre quando ele oscila. Suponho que você fosse contratado para fazer essa estimativa, como você procederia? a) Que modelo poderia ser utilizado para descrever o movimento do lustre? b) Quais as principais características desse modelo? c) Que experimento poderia ser feito previamente para se dar credibilidade para sua estimativa?



Problema 2: De modo a combater a proliferação de microrganismos, é comum o resfriamento dos alimentos depois de cozidos. Nesse processo, é importante que tal resfriamento ocorra no menor tempo possível. No caso de um molho de tomate, por exemplo, é recomendado que a temperatura de 10°C seja atingida em, no máximo, duas horas. a) Que modelo pode ser utilizado para que o fabricante possa estimar a temperatura dos molhos com o transcorrer do tempo? b) Quais as principais características desse modelo? c) De que modo um fabricante de molhos pode otimizar o resfriamento dos seus produtos? d) Que experimento pode ser realizado com o intuito de avaliar o modelo que você propôs no item a desse problema?



APÊNDICE I

Resultados das questões objetivas do Questionário 1 do Estudo 2

Respostas dos participantes do Estudo Empírico 2 às questões objetivas do Questionário 1 (Apêndice F). Os níveis de concordância Concordo Fortemente, Concordo, Indeciso ou sem opinião, Discordo, e Discordo Fortemente, foram convertidas para os números 5, 4, 3, 2 e 1, respectivamente.

Afirmativas	Estudantes									
	1		2		3		4		5	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
1. Modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re) constrói.	2	2	4	5	4	-	4	4	4	4
2. Um modelo científico pode passar a representar sistemas físicos completamente diferentes daquele para o qual foi inicialmente concebido.	2	1	5	5	2	-	5	5	4	4
3. Modelos científicos devem ser modificados sempre que não estiverem de acordo com os dados empíricos ou com o corpo de conhecimento já estabelecido.	1	1	4	4	3	-	1	1	2	2
4. Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade.	1	2	2	4	2	-	4	2	2	1
5. A principal função de um modelo científico é a de servir como ferramenta de ensino.	2	2	1	1	2	-	4	3	2	2
6. Os resultados obtidos com um modelo científico jamais permitirão ir além de tudo aquilo que previamente se sabia sobre o sistema físico de interesse.	2	2	1	1	2	-	1	4	2	1
7. É possível construir diversos modelos científicos para o mesmo sistema físico, mas somente um será aceitável.	3	2	2	1	2	-	2	2	2	2
8. Há modelos científicos que permitem investigar sistemas que não existem na natureza.	3	4	4	5	4	-	5	1	3	3
9. Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos.	2	2	2	2	2	-	4	4	2	2
10. Os cientistas frequentemente introduzem elementos hipotéticos, ignoram propriedades e fazem uso de entidades não observáveis na modelagem científica de sistemas físicos.	2	2	5	4	3	-	5	5	4	4

11. Um bom experimento de Física deve ser desenvolvido com um evento do mundo em seu estado natural, sem a influência de qualquer tipo de controle realizado intencionalmente pelo experimentador.	5	4	3	2	3	-	1	1	2	2
12. As diferenças entre os resultados previstos pelos modelos teóricos da Física e resultados empíricos são decorrentes, exclusivamente, da imprecisão dos instrumentos de medida utilizados.	5	2	2	2	2	-	5	1	2	2
13. A melhor curva que se ajusta aos dados experimentais mostrados em um gráfico é aquela que passa pelo maior número de pontos.	4	5	2	4	3	-	4	1	4	1
14. Quanto mais medidas de uma mesma grandeza física são realizadas em um experimento, maior será a confiança do pesquisador nos seus dados coletados.	5	5	4	4	4	-	5	5	4	4

APÊNDICE J

Protocolo de avaliação de relatórios utilizado no Estudo 2

Por Modelo Teórico de Referência do Experimento (MTRE), queremos nos referir ao modelo teórico que dirige tanto o delineamento do experimento desenvolvido como a análise dos dados coletados.

Para cada subcritério de avaliação apresentado foi atribuído o símbolo \checkmark ou um x . A avaliação final em cada critério foi computada, em uma escala que varia entre 0 e 1, pela proporção de \checkmark e x obtidos nos seus subcritérios. Por exemplo, se um relatório é avaliado com três \checkmark 's e um x no critério "Objetivo da pesquisa", ele ficará com a avaliação 0,75 nesse critério.

Objetivo da pesquisa	0	Não explicita o objetivo da investigação.	
	Subcritérios		Explicita o objetivo da investigação.
			Relaciona com um modelo teórico de referência previamente explicitado.
			Faz referência somente a grandezas, objetos, relações teóricas ou eventos físicos previamente definidos no trabalho.
			É preciso, mencionando explicitamente as relações teóricas que foram avaliadas.
1	Apresenta o objetivo da investigação de forma adequada.		
Teoria Geral	0	Não explicita a teoria geral utilizada no MTRE.	
	Subcritérios		Explicita a teoria geral que ampara o MTRE.
			Aplica parcialmente as leis e/ou princípios de uma teoria geral à situação física investigada.
			Aplica satisfatoriamente as leis e/ou princípios de uma teoria geral à situação física investigada.
			Se aplica a teoria geral, não comete erros conceituais graves.
1	Explicita a teoria geral utilizada no MTRE de forma adequada.		
Simplificações	0	Não explicita simplificações consideradas no MTRE.	
	Subcritérios		Explicita somente simplificações que foram efetivamente relevantes para o MTRE.
			Explicita parte das principais simplificações consideradas no MTRE.
			Explicita satisfatoriamente as simplificações consideradas no MTRE.
			Ressalta as implicações das simplificações consideradas no MTRE.
1	Explicita adequadamente as principais simplificações considerados no MTRE e suas implicações.		
Referentes	0	Não explicita objetos considerados no MTRE.	
	Subcritérios		Não confunde objetos com as grandezas utilizadas para representar suas propriedades.
			Explicita somente objetos que foram efetivamente relevantes para o MTRE.
			Explicita parte dos objetos considerados no MTRE.
			Explicita satisfatoriamente os principais objetos considerados no MTRE.
1	Explicita adequadamente os objetos do evento físico considerados no MTRE.		

Relação teoria-experimento	0	Não explicita as relações entre o MTRE e o experimento realizado.	
	Subcritérios	Explicita cuidados tomados no delineamento experimental para que a influência de fatores desprezados pelo MTRE influenciem minimamente os dados experimentais.	
		Explicita parcialmente como o MTRE dirigiu a análise dos dados experimentais.	
		Explicita satisfatoriamente como o MTRE dirigiu a análise dos dados experimentais.	
1	Explicita as relações entre o MTRE e o experimento realizado.		
Representações	0	Não utiliza ferramentas de representação.	
	Subcritérios	Utiliza ferramentas (gráficos, tabelas, figuras pictóricas, etc.) para representar os dados coletados experimentalmente.	
		Escolhe as ferramentas de representação (gráficos, tabelas, figuras pictóricas, etc.) mais adequadas para representar os dados coletados experimentalmente.	
		Utiliza as ferramentas de representação de forma adequada (e.g., explicita as grandezas representadas nos eixos dos gráficos, etc.).	
		Interpreta as representações apresentadas corretamente.	
1	Utiliza ferramentas de representação de forma adequada para as análise de dados realizadas.		
Fontes de Incertezas	0	Não analisa as fontes de incertezas dos dados coletados experimentalmente.	
	Subcritérios	Ressalta ao menos uma fonte de incerteza relacionada com as imprecisão dos instrumentos de medida utilizados.	
		Ressalta as principais fontes de incerteza relacionadas com as imprecisão dos instrumentos de medida utilizados.	
		Ressalta ao menos uma fonte de incerteza relacionada com consequências das simplificações consideradas no MTRE que não foram completamente respeitadas no experimento.	
		Ressalta as principais fontes de incerteza relacionadas com consequências das simplificações consideradas no MTRE que não foram completamente respeitadas no experimento.	
1	Analisa as fontes de incertezas dos dados coletados experimentalmente de forma adequada.		
Conclusões	0	Não apresenta conclusões consistentes.	
	Subcritérios	Confronta os dados coletados experimentalmente com predições decorrentes do MTRE.	
		Apresenta somente conclusões que contam com amparo de evidências experimentais.	
		Analisa as possíveis contribuições dos resultados experimentais para a resolução do problema que norteou a investigação realizada.	
1	Apresenta conclusões consistentes.		

APÊNDICE K

Guias de atividade dos Episódios de Modelagem conduzidos no Estudo 3

1º Episódio de Modelagem: Pêndulos

O que a procura por petróleo no solo, a mensuração da latitude de um ponto no planeta e a medida de um intervalo do tempo têm em comum? Tal pergunta, que pode parecer um tanto sem sentido em um primeiro momento, tem resposta: todos esses processos podem ser realizados com o uso de pêndulos específicos!

Por meio da gravimetria, método utilizado para se medir pequenas variações do campo gravitacional terrestre, geofísicos podem inferir a presença de formações rochosas curvas no subsolo, o que pode ser um indício da presença de petróleo. Essas pequenas variações no campo gravitacional podem ser detectadas com o auxílio de pêndulos. Já a mensuração da latitude de um ponto na Terra pode ser medida com pêndulos de Foucault, que são grandes pêndulos que alteram suas direções de oscilação na medida em que a Terra rotaciona. Por fim, o fato de que as oscilações de um pêndulo serem praticamente isócronas para pequenas amplitudes o torna um instrumento interessante para se fazer medidas de intervalo de tempo.

A relevância dos pêndulos fez com que os cientistas procurassem construir representações que descrevessem seus comportamentos. Essas representações podem ser muito complicadas, relacionando muitas grandezas em complexos modelos matemáticos. Talvez o mais modesto desses modelos é o modelo de pêndulo simples. Apesar de nele serem consideradas uma série de simplificações da realidade, ele é capaz de descrever com razoável precisão o comportamento de diversos pêndulos reais. Além disso, a compreensão de pêndulos mais simples pode nos auxiliar na compreensão de pêndulos mais complicados. Tal fato é ilustrado na Figura 01.

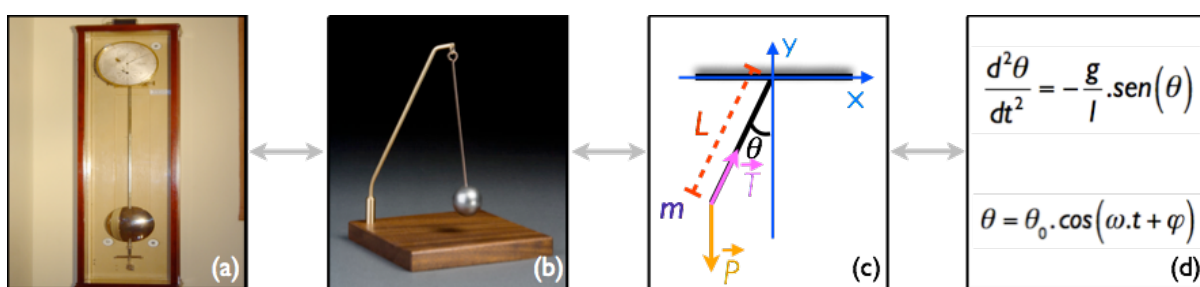


Figura 01 – A compreensão do funcionamento de um relógio de pêndulo (a) é facilitada pelo entendimento do comportamento de um corpo pequeno que oscila suspenso por um fio leve e pouco elástico (b). Esse pêndulo pode ser conceitual e qualitativamente descrito pelo representação de pêndulos simples (c), e quantitativamente descrito, com certo grau de precisão, pelo modelo matemático (d).

Episódio de Modelagem

Cabe reiterar, no entanto, que no modelo de pêndulo simples, assim como em qualquer modelo científico, são consideradas diversas simplificações da realidade, o que limita o seu poder preditivo sobre pêndulos reais. Frente a tal fato, podemos nos perguntar: Até que ponto podemos considerar as dimensões do corpo suspenso em um pêndulo real desprezível de modo que possamos usar o modelo de pêndulo simples para representá-lo? Até que ponto podemos considerar que a amplitude de um pêndulo real é pequena? Até que ponto a força de arrasto com o ar influencia no período de um pêndulo real? Quando podemos dizer que a massa do fio de sustentação é desprezível?

Nesta tarefa exploraremos o contexto de validade do modelo de pêndulo simples. Para isso, queremos que vocês explorem os limites nos quais a diferença entre o período predito pelo modelo de pêndulo simples e o medido com um pêndulo real é menor do que 5%. Sugerimos três experimentos distintos para o desenvolvimento dessa investigação. São eles:

Experimento 1

Avalie o quanto a amplitude de oscilação de um pêndulo real influencia no seu período. Para isso, construa um pêndulo e meça o seu período diversas vezes utilizando amplitudes iniciais diferentes em cada uma das medidas.

Experimento 2

Avalie a influência das dimensões do corpo suspenso sobre o período de pêndulos reais comparando o diâmetro do corpo que oscila com o comprimento do fio que o sustenta. Para isso, meça o período de um pêndulo diversas vezes utilizando comprimentos do fio de sustentação distintos em cada uma das medidas.

Experimento 3

Avalie a influência da força resistiva do ar sobre o período de pêndulos reais. Para isso, meça o período de um pêndulo diversas vezes utilizando corpos suspensos com distintas dimensões. As dimensões dos corpos suspensos podem ser modificadas revestindo-os com bolas de isopor leves.

Atividade experimental

Delineie um experimento para realizar com o intuito de avaliar os limites nos quais a diferença entre o período predito pelo modelo de pêndulo simples e o medido com pêndulos reais é menor do que 5%. Você tanto pode desenvolver uma das três propostas apresentadas quanto confeccionar outro delineamento experimental. Para isso, registre suas respostas às *Questões Norteadoras para o Desenvolvimento de Experimentos* no seu caderno de laboratório.

Exercício Final

Ao término da sua investigação, responda as questões do problema abaixo.

Um engenheiro pretende dimensionar o cabo de sustentação de uma bola de destruição. Para isso, ele precisa de uma estimativa da máxima força necessária para sustentar a bola oscilante. Com o objetivo de realizar uma primeira avaliação, o profissional decidiu utilizar o modelo teórico de pêndulo simples para analisar o comportamento da bola de destruição. Responda as seguintes questões sobre essa análise:



- 1) Que objetos da realidade são considerados?
- 2) Que simplificações da realidade são consideradas?
- 3) Que grandezas são importantes na avaliação do engenheiro?
- 4) Represente por meio de uma ferramenta de representação o evento físico analisado pelo engenheiro.
- 5) Que relação matemática permitirá se avaliar a tensão máxima exercida sobre o cabo de sustentação da bola de destruição? Explique-a partindo da mecânica newtoniana e destacando as simplificações da realidade que foram consideradas nesse modelo.
- 6) Estime valores razoáveis para as grandezas relevantes para o problema sobre o movimento da bola de destruição e avalie a tensão que o cabo de sustentação dela precisa suportar.

PARA LER!

Para que fazemos experimentos? Para comprovar teorias? Para encontrar regularidades no mundo físico? Para testar modelos científicos? Essas questões não são triviais e muitos filósofos já dedicaram muito dos seus tempos para refletirem sobre elas. Para nós também refletirmos um pouco, queremos que você estude dois capítulos que estão presentes no material utilizado na disciplina Física Experimental – I. São eles: i) Crítica à crença na comprovação científica (p. 45-53), e ii) Da comprovação à modelagem científica (p. 55-64). O material está disponível em http://www.if.ufrgs.br/cref/labmecanica/Lima_Jr_et_al_2013.pdf.

LEIA MAIS!

Borges, E. & Braga, J. P. (2010). O efeito de coriolis: de pêndulos a moléculas. *Química Nova*, 33(6), p. 1416-1420.

Carvalho, E. P. (1994). Como se encontra petróleo? *Super Interessante*. Disponível em: <http://super.abril.com.br/cotidiano/como-se-encontra-petroleo-441045.shtml>. Acesso em: 20/02/2014.

Pook, L. P. (2011). *Understanding pendulums: A brief introduction*. New York: Springer.

Silveira, F. L. (1986). Estudo empírico da relação entre o período e a amplitude de um Pêndulo Simples. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 3(3), p. 134-137.

Silveira, F. L. & Ostermann, F. (2002). A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(especial), p. 7-27.

2º Episódio de Modelagem: Sistema de Amortecimento Automotivo

Que características devem ter os componentes do sistema de amortecimento de um automóvel? Como essas características influenciam esse sistema? Do que dependem essas características? A resposta para essas questões pode envolver conhecimentos bastante avançados. Uma rápida pesquisa na internet evidencia que os sistemas de amortecimento automotivos atuais são altamente complexos, e que a modelagem desses sistemas envolve extensos equacionamentos matemáticos que podem conter muitas variáveis e diversas dimensões. No entanto, quando queremos entender ao menos os aspectos básicos do sistema de amortecimento de um automóvel, podemos criar e investigar uma situação física mais simples, e é isso que será realizado nesta atividade.

Frequentemente, cientistas constroem aparatos experimentais simples com o objetivo de investigar sistemas reais mais complexos. Assim ocorre quando, por exemplo, um físico produz em laboratório centelhas com um gerador elétrico em um ambiente controlado com o objetivo de investigar o comportamento de raios na atmosfera terrestre. Já o estudo dos pêndulos que utilizamos nos experimentos do primeiro episódio de modelagem possibilita que entendamos com mais clareza o funcionamento de equipamentos de gravimetria, de relógios de pêndulo, de pêndulos de Foucault, etc. Da mesma forma, podemos construir aparatos experimentais que nos permitem investigar o funcionamento de sistemas de amortecimento automotivos em laboratório.

Evidentemente, a complexidade desses aparatos pode variar muito dependendo das questões que o cientista precisa responder e de aspectos relacionados com a infraestrutura disponível para ele. Um desses arranjos consiste em um corpo suspenso por uma mola que oscila imerso em um fluido. A Figura 1 ilustra esse arranjo experimental.

Admitindo-se uma série de simplificações da realidade e utilizando as leis da Mecânica Newtoniana, a evolução temporal da posição y , indicada na Figura 1, de um corpo que oscila em um sistema massa-mola amortecido pode ser representada matematicamente por:

$$y(t) = A \cdot e^{-\frac{b}{2m} \cdot t} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi),$$

onde A é a amplitude do movimento do corpo, m é a massa do corpo suspenso, ω é a frequência angular do movimento oscilatório, φ é uma constante de fase e b é uma constante de proporcionalidade entre a força resistiva que age sobre o corpo e a sua velocidade. A constante b depende de uma série de fatores dentre os quais se destacam o formato do corpo e a viscosidade do fluido.

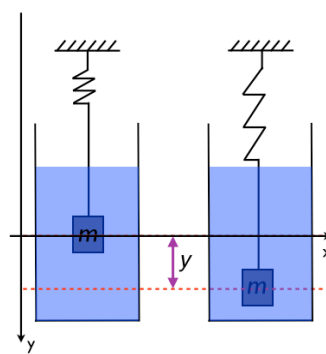


Figura 1 – Ilustração de um sistema massa-mola amortecido.

Episódio de Modelagem

Inicialmente, responda à seguinte questão.

1) De que modo o movimento de um corpo que oscila suspenso por uma mola e imerso em um líquido viscoso nos auxilia a compreender o sistema de amortecimento de um automóvel? Explícite em sua resposta os pontos comuns a ambos os sistemas físicos.

Atividade Experimental

Neste episódio de modelagem, investigaremos o comportamento de um corpo que oscila imerso em um fluido suspenso por uma mola com o objetivo de se compreender os aspectos básicos do comportamento de sistemas de amortecimento automotivos. Para isso, avaliaremos a influência do uso de diferentes corpos suspensos, diferentes fluidos e diferentes molas no movimento de corpos que oscilam imersos em um fluidos suspensos por molas. Em suma, para ampliar sua compreensão sobre sistemas de amortecimento automotivos, queremos que nessa atividade você delineie um experimento com o objetivo de avaliar a adequação do modelo teórico de sistema massa-mola para representar o movimento de corpos que oscilam suspensos por molas e imersos em fluidos. Portanto, a atividade envolverá experimentos com o objetivo de medir a constante de amortecimento b e a constante elástica k desses sistemas. Abaixo, apresentamos três experimentos que serão utilizados nesta atividade.

Experimento 1

Avalie a influência do fluido sobre o movimento do corpo que oscila no seu interior. Para isso, meça constantes de amortecimento de um mesmo corpo que oscila preso a uma mesma mola imerso em diferentes fluidos.

Experimento 2

Avalie como a constante elástica da mola na qual o corpo está preso influencia no seu movimento no interior de um fluido. Para isso, meça o tempo de oscilação de um corpo que oscila em um fluido com constante de amortecimento suspenso por diferentes molas com constantes elásticas k conhecidas.

Experimento 3

Avalie como uma característica do corpo oscilante (e.g., sua massa ou seu formato) influencia no seu movimento. Para isso, meça o tempo de oscilação de diferentes corpos que oscilam em um mesmo fluido suspensos por uma mesma mola.

Cada grupo deverá realizar, no mínimo, dois experimentos: i) o Experimento 1; e ii) um entre os Experimentos 2 e 3 à escolha dos integrantes dos grupos. Destacamos que, para a condução desses experimentos, o uso do *software* Tracker é uma boa alternativa. Ressaltamos ainda que as

Questões Norteadoras para o Desenvolvimento de Experimentos deverá guiar novamente sua atividade.

Ao término da sua investigação, responda à questão abaixo.

2) Após a realização da sua investigação, o que você pode concluir sobre as características de um bom sistema de amortecimento automotivo? Utilize um *software* (e.g., Excel, Modellus, uma simulação computacional) para simular dados teóricos partindo do modelo teórico de sistema massa-mola e avalie suas conclusões.

Exercício Final

Alguns praticantes de *bungee jumping* saltam de grandes alturas pendurados por cordas elásticas. Durante esses saltos, antes de pararem completamente, esses aventureiros oscilam durante alguns segundos. Suponha que você queira construir um modelo teórico para estudar o movimento dos praticantes de *bungee jumping* nos seus saltos.

- 3) Que objetos da realidade precisariam ser considerados no seu modelo?
- 4) Que simplificações da realidade seriam consideradas?
- 5) Represente o evento físico estudado usando equações, gráficos, representações pictóricas, etc..
- 6) Descreva em palavras a evolução temporal da velocidade e da aceleração do indivíduo no *bungee jumping*. Se necessário, utilize também equações e/ou representações gráficas.

LEIA MAIS!

Silveira, F. L. (2011). Potência de tração de um veículo automotor que se movimenta com velocidade constante. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1), p. 1-7.

Werlang, R. B. & Silveira, F. L. (2013). A Física dos pneumáticos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(3), p. 614-627.

3º Episódio de Modelagem: Arquimedes e a Coroa do Rei

Diz a lenda que Arquimedes, a mando do rei Hieron II de Siracusa, teria concluído que a coroa real, supostamente produzida apenas com ouro puro, continha uma parcela de prata em sua composição. “A lenda afirma que Arquimedes teria notado que transbordava uma quantidade de água da banheira, correspondente ao seu próprio volume, quando entrava nela e que, utilizando um método semelhante, poderia comparar o volume da coroa com os volumes de iguais pesos de prata e ouro: bastava colocá-los em um recipiente cheio de água, e medir a quantidade de líquido derramado. Feliz com essa fantástica descoberta, Arquimedes teria saído correndo nu pelas ruas gritando

‘euréka!’ (em grego: ‘evidentemente!’)” (Martins, 2000, p. 115). No entanto, a veracidade de tal relato é profundamente questionada por historiadores da Ciência.

De maneira distinta, alguns livros de Física (e.g., Giancoli, 2009) sugerem que Arquimedes investigou a coroa do rei Hieron II utilizando outro método. Como é ilustrado na Figura 1, o cientista teria suspenso a coroa em um dinamômetro e comparado a leitura do instrumento quando a coroa estava no ar com a sua leitura quando a coroa estava imersa na água. Métodos semelhantes a esse são utilizados até hoje em bons laboratórios de Física para se avaliar a composição de objetos.

Neste episódio de modelagem, avaliaremos esses dois métodos de medida supostamente utilizados por Arquimedes, analisando suas precisões assim como a plausibilidade de que, utilizando tais métodos, Arquimedes tenha efetivamente aferido a composição da coroa do rei Hieron II.

Episódio de Modelagem

Os debates promovidos no episódio de modelagem “Pêndulos” evidenciaram que todos os modelos teóricos da Física pressupõem simplificações dos eventos físicos que eles representam. Esse fato explica parcialmente os motivos pelos quais sempre existirão diferenças entre as previsões dos modelos teóricos e dados coletados experimentalmente. Já no episódio de modelagem “Sistema de Amortecimento Automotivo” foi destacado que os experimentos realizados nos laboratórios envolvem, em maior ou menor nível, o estudo de situações “artificiais”, ou seja, de eventos controlados construídos a partir de um modelo teórico de referência com o intuito de representarem eventos mais complicados. Neste episódio de modelagem, evidenciaremos as relações entre dois aspectos do trabalho experimental: métodos de coleta de dados e análises de dados. Por meio do estudo da história de Arquimedes na busca pela composição da coroa do rei, demonstraremos que diferentes métodos experimentais podem ser utilizados com o intuito de se medir uma mesma grandeza física, e que cada um desses métodos envolve: i) diferentes instrumentos que implicam em distintas fontes de incerteza que influenciam a precisão das medidas realizadas; e ii) diferentes análises suportadas por distintos modelos teóricos que pressupõem diferentes simplificações do evento físico investigado. As possíveis conclusões decorrentes de qualquer experimento dependem fortemente desses dois fatores, e esse é um aspecto crucial da investigação que realizaremos.

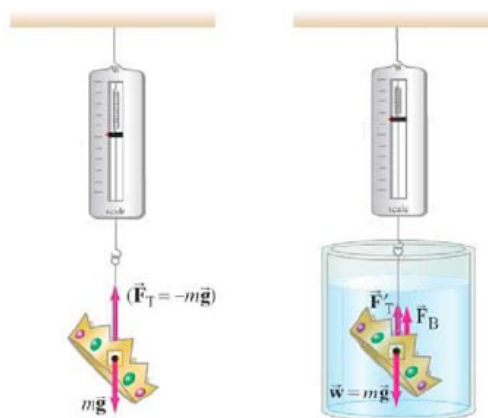


Figura 1 – Ilustração de um dos métodos supostamente utilizado por Arquimedes para avaliar a composição da coroa do rei Hieron II (Giancoli, 2009, p. 350).

Atividade Experimental

Nesta atividade você medirá a composição de um objeto que supostamente contém apenas chumbo e alumínio por meio de dois métodos experimentais distintos. São eles:

Método 1

Insira o objeto investigado em um recipiente com água e meça a variação do nível da água no mesmo. De posse dessa medida, da massa do objeto e da densidade do Chumbo e do Alumínio, avalie a composição do objeto.

Método 2

Suspenda o objeto investigado em um dinamômetro e registre o que é medido no instrumento quando o objeto está no ar e quando ele é imerso na água. De posse dessas medidas, da massa do objeto e da densidade do Chumbo, do Alumínio, avalie a composição do objeto.

Escolha uma das amostras disponibilizadas pelo professor e determine a sua composição duas vezes: uma utilizando o Método 1 e outra o Método 2. As *Questões Norteadoras para o Desenvolvimento de Experimentos* guiarão novamente seu trabalho. Tendo em mente que queremos avaliar os métodos supostamente utilizados por Arquimedes, ao final da análise dessas medidas, procure responder às seguintes questões com o seu experimento:

- 1) Considere dois corpos hipotéticos que contenham a mesma massa da amostra investigada: um composto somente por chumbo e outro somente por alumínio. Quais os volumes desses corpos, levando em conta a incerteza das suas medidas? Seus resultados permitem afirmar que o volume da amostra investigada é diferente do volume desses corpos hipotéticos? Relacione tal procedimento com a história de Arquimedes em sua busca pela verdadeira composição da coroa do rei.
- 2) Qual dos dois métodos utilizados é mais preciso? Algum deles poderia ter sido utilizado por Arquimedes? Por quê?

Troque sua amostra com a escolhida por outro grupo. Utilizando novamente os dois métodos de medição, avalie a composição da amostra dos seus colegas.

- 3) As porcentagens de chumbo e de alumínio medidas pelo seu grupo são coerentes com as medidas realizadas pelo grupo com o qual você trocou sua amostra? Lembre-se de avaliar a incerteza das medidas experimentais.

Experimento extra!

Embaixo das balanças disponíveis no laboratório, existe um pequeno gancho onde é possível pendurar um objeto e medir sua massa. Suspenda a sua amostra nesse gancho e organize seu aparato experimental de modo que a amostra suspensa fique dentro de um recipiente com água que, por sua vez, precisa estar localizado em cima de uma balança. A Figura 2 ilustra tal situação.

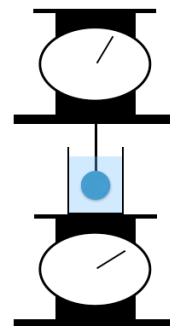


Figura 2 – Ilustração do aparato experimental construído para o experimento extra.

- 4) Construa um diagrama de forças para o sistema composto pelas duas balanças, pelo recipiente com água e pela amostra quando os mesmos estão dispostos como na Figura 2.
- 5) O que é medido pela balança superior?
- 6) O que é medido pela balança inferior?

LEIA MAIS!

Giancoli, D. C. (2009). *Physics for Scientists & Engineers*. 4ª ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Martins, R. A. (2000). Arquimedes e a coroa do rei: Problemas históricos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 17(2), p.115-121.

Silveira, F. L. & Medeiros, A. (2009). O paradoxo hidrostático de Galileu e a lei de Arquimedes. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 26(2), p. 273-294.

4º Episódio de Modelagem: Resfriamento de Sistemas

Um perito chega ao local de um crime e precisa estimar o tempo transcorrido desde o momento em que ocorreu um homicídio. O que fazer? O perito mede a temperatura da superfície corporal da vítima duas vezes: i) uma vez imediatamente ao chegar ao local do crime; e ii) outra uma hora após a primeira medida. Mas como essas informações podem auxiliar o perito a realizar a estimativa que ele deseja? Para entendermos o trabalho realizado por esse investigador, precisamos responder a seguinte questão: Como evolui a temperatura de um objeto que resfria? Uma resposta para essa pergunta pode ser obtida por meio de um modelo teórico bastante difundido no meio científico: a Lei de Resfriamento de Newton. Antes de voltarmos a tratar da investigação do perito, vamos apresentar sucintamente aqui algumas das principais características dessa lei.

A Lei de Resfriamento de Newton tem como pressuposto a hipótese de que as trocas de energia por condução, convecção e radiação $dQ_{cond_conv_rad}/dt$ de um objeto com o meio que o circunda são proporcionais à diferença entre a temperatura do objeto T e a temperatura do ambiente T_{amb} , ou seja:

$$\frac{dQ_{\text{cond-conv-rad}}}{dt} = k \cdot (T_{\text{amb}} - T) \quad ,$$

onde k é uma constante de proporcionalidade que depende, entre outras coisas, do material do qual o objeto é constituído. Derivadas desse pressuposto, as principais predições da Lei de Resfriamento de Newton podem ser sintetizadas na seguinte expressão matemática:

$$T = T_{\text{amb}} + (T_0 - T_{\text{amb}}) \cdot e^{-\frac{k}{C} \cdot t} \quad ,$$

onde T_0 é a temperatura inicial do corpo e C é a capacidade térmica do objeto investigado. Dessa equação podemos inferir que a temperatura de um corpo que resfria decai exponencialmente e, como pode ser constatado na Figura 1, se iguala à temperatura do meio circundante após um intervalo de tempo suficientemente longo.

Mas como isso nos ajuda a compreender o trabalho do perito? Com os dados das duas medidas de temperatura da superfície corporal da vítima realizadas em dois momentos distintos, e da

temperatura ambiente do local do homicídio, o perito pode inferir a razão k/C que determina a taxa de resfriamento da superfície da vítima. Com esse dado e fazendo uma estimativa da temperatura do corpo do indivíduo no momento do crime (usualmente entre 36°C e 37°C), o perito pode calcular o tempo transcorrido para que a vítima varie sua temperatura desde a sua estimativa até a temperatura que ele mediu quando chegou ao local do homicídio, e assim estimar o horário em que ocorreu o crime investigado.

Episódio de Modelagem

As predições decorrentes da Lei de Resfriamento de Newton, que para alguns podem parecer um tanto intuitivas, não são válidas para qualquer sistema que resfria. Como qualquer modelo científico, ela possui um domínio de validade. Vejamos um exemplo: os dados registrados no gráfico da Figura 2 representam medidas de temperatura de dois pratos cheios de água (um deles aberto e outro fechado) em função do tempo. Também é apresentada a temperatura ambiente do local onde o experimento foi realizado.

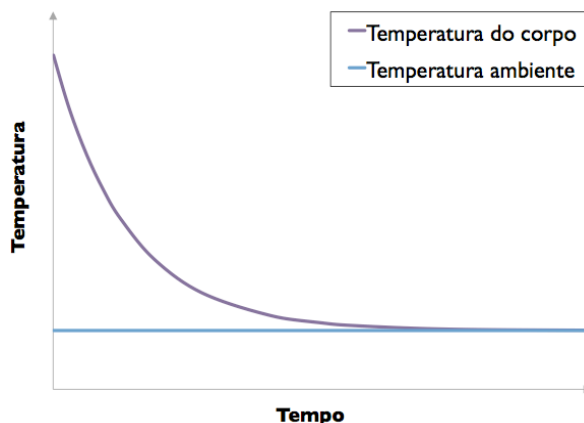


Figura 1 - Representação gráfica da Lei de Resfriamento de Newton. O corpo que resfria entra em equilíbrio térmico com o ambiente que o circunda.

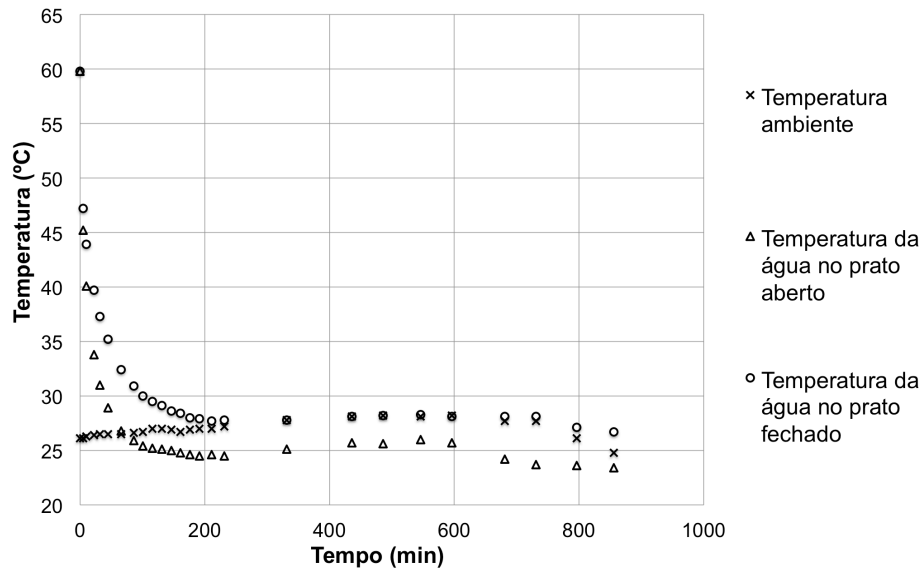


Figura 2 – Representação gráfica da evolução temporal da temperatura da água contida em dois pratos (um aberto e um fechado) assim como da temperatura ambiente do local onde tais pratos resfriavam. A água contida no prato aberto atinge uma temperatura menor que a temperatura ambiente.

Os dados desse simples experimento evidenciam uma situação física que contradiz as predições da Lei de Resfriamento de Newton. A temperatura da água contida no prato aberto decresce até valores abaixo da temperatura do ambiente que o circunda. Em outras palavras, esses dados evidenciam que, assim como qualquer modelo científico, a Lei de Resfriamento de Newton tem um domínio de validade, e esse domínio de validade foi extrapolado no caso do resfriamento de uma porção de água exposta ao ambiente. Por que isso ocorre?

A compreensão do resfriamento de uma porção de água exposta ao ambiente perpassa pela compreensão das trocas de energia envolvidas nesse sistema. Como já destacamos nesse guia, na Lei de Resfriamento de Newton são consideradas trocas de energia $dQ_{cond_conv_rad}/dt$ por condução, convecção e radiação. No caso do resfriamento da água exposta ao ambiente, precisamos somar a essas trocas de energia um termo dQ_{evap}/dt relacionado com as perdas de energia do sistema em função da evaporação do líquido. Assim como foi feito na aula passada, quando medimos o calor latente de vaporização do nitrogênio líquido, esse termo pode ser representado matematicamente pela taxa de evaporação da água multiplicada pelo calor latente de evaporação c_{lat_evap} da mesma. Abaixo é representada matematicamente essa modificação que expande o modelo da Lei de Resfriamento de Newton.

$$\frac{dQ_{cond_conv_rad}}{dt} = k.(T_{amb} - T) \quad \longrightarrow \quad \frac{dQ_{cond_conv_rad}}{dt} + \frac{dQ_{evap}}{dt} = k.(T_{amb} - T) + \frac{dm_{H_2O}}{dt} . c_{lat_evap}$$

A alteração que propomos na lei de Resfriamento de Newton faz com que ela não tenha solução analítica, ou seja, faz com que não seja possível se confeccionar uma função $T(t)$ que nos forneça a temperatura de um líquido em qualquer tempo com base nas equações diferenciais que representam o comportamento do sistema. Desse modo, para se produzir predições teóricas com

esse modelo modificado são necessários métodos que normalmente são emulados em computadores, o que você pode fazer usando um *software* como o Modellus, por exemplo. No entanto, mesmo sem realizarmos esse procedimento, podemos, apenas analisando o modelo, avaliar os fatores que influenciam na taxa de resfriamento de líquidos. Para facilitar essa análise, podemos explorar a equação Smith-Lof-Jones (Schouten *et al.*, 2011), que representa matematicamente um dos modelos que procura relacionar a taxa de evaporação de uma porção de água com características do meio no qual ela está contida. Ela pode ser expressa da seguinte forma:

$$\frac{dm_{H_2O}}{dt} = \frac{1000 \cdot (30,6 + 32,1 \cdot U) \cdot P_{vs} \cdot (1 - UR) \cdot A_{H_2O}}{3600 \cdot c_{lat_evap}},$$

onde U , P_{vs} e UR são, respectivamente, a velocidade, a pressão de vapor saturado e a umidade relativa do ar circundante, A_{H_2O} é a área exposta da água ao ar, e c_{lat_evap} é o calor latente de evaporação da água.

Com o auxílio da equação de Smith-Lof-Jones, podemos inferir que a perda de energia de uma porção de água depende, entre outras coisas, da sua área exposta ao ambiente, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento na sua superfície exposta ao ambiente. Nesse Episódio de Modelagem, procuraremos relacionar esses aspectos que influenciam na evaporação da água com a taxa com que ela resfria.

Atividade Experimental

Nesta atividade você investigará como alguns fatores influenciam na evolução temporal da temperatura de uma porção de água. Você poderá optar por três linhas de investigação:

Investigação 1

Avalie a influência da área exposta ao ambiente na evolução temporal da temperatura de uma porção de água exposta ao ambiente.

Investigação 2

Avalie a influência da temperatura inicial de uma porção de água exposta ao ambiente na evolução temporal da sua temperatura.

Investigação 3

Avalie a influência da umidade relativa do ar na evolução temporal da temperatura de uma porção de água exposta ao ambiente.

Escolha uma das investigações sugeridas e construa experimento(s) com o objetivo de realizar inferências sobre as relações estudadas. Em paralelo, queremos que você avalie o domínio de validade da equação de Smith-Lof-Jones. Essa equação descreve bem a taxa de evaporação de um líquido? Se sim, em quaisquer condições? Procure responder essas questões na sua investigação.

Por fim, lembre-se: as *Questões Norteadoras para o Desenvolvimento de Experimentos* guiarão novamente seu trabalho nessa investigação!

LEIA MAIS!

Besson, U. (2012). The history of the cooling law: When the search for simplicity can be an obstacle. *Science & Education*, 21(8), p. 1085–1110.

Dickman, A. G.; Dickman, R. (2007). A Lei de Resfriamento de Newton: Condução e Radiação. In: *XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. São Luis, Brasil.

Gesari, S.; Irigoyen, B.; Juan, A. (1996). An experiment on the liquid-vapor equilibrium of water. *American Journal of Physics*, 64(9), p. 1165-1168.

Schouten P.; Lemckert, C.; Parisi, A.; Downs, N.; Underhill, I. & Turner, G. (2011). Variable Wind Speed and Evaporation Rates: A Practical and Modelling Exercise for High School Physics and Multi-Strand Science Classes. *Teaching Science*, 57(2), p. 47-51.

APÊNDICE L

Questões norteadoras para o desenvolvimento de experimentos usadas pelos estudantes no Estudo 3

Caro(a) aluno(a), as seguintes questões dirigirão o seu trabalho em atividades experimentais da disciplina. Registre suas respostas no caderno de laboratório. Elas serão muito importantes para que você confeccione os seus relatórios experimentais.

Objetivo da Investigação

1) Qual o objetivo da sua investigação? Que relação entre grandezas você investigará? Por que você pressupõe que essas grandezas se correlacionam?

Modelagem do Evento Investigado

- 3) Qual o modelo teórico de referência do seu experimento?
- 4) Que objetos da realidade foram considerados nesse modelo teórico?
- 5) Que simplificações da realidade são assumidas nesse modelo?
- 6) Deduza as equações do modelo teórico de referência que serão importantes no seu experimento. Nessa dedução, fundamente-se em teorias gerais da Física e destaque as implicações das simplificações da realidade consideradas.

Planejamento do Experimento

- 7) Que grandezas físicas precisam ser medidas na sua investigação?
- 8) Que instrumentos de medida você vai utilizar para medir essas grandezas?
- 9) Que fatores precisam ser controlados no seu experimento? Por quê? O que será feito para controlá-los?
- 10) Explique o experimento que você realizará destacando o arranjo experimental que será utilizado e os principais cuidados que serão tomados no seu desenvolvimento. Utilize gráficos, tabelas, figuras pictóricas, etc., (ferramentas de representação) se julgar necessário.
- 11) Como será realizada a análise dos dados coletados no seu experimento?
- 12) Que predições são feitas pelo modelo teórico de referência do seu experimento sobre as grandezas que serão medidas na sua investigação?
- 13) Que ferramenta(s) de representação (gráfico, tabela, etc.) você utilizará para facilitar a análise dos seus dados? Esclareça quais as grandezas que serão representadas.

Obs: Após ter respondido por escrito essas treze primeiras questões, apresente seu caderno de laboratório ao professor. Somente prossiga na sua investigação quando seu planejamento for aprovado!

Execução do Experimento

14) Construa o arranjo experimental que você pretende utilizar e teste-o. Ele realmente é adequado para o desenvolvimento da sua investigação?

15) Execute o experimento que você planejou e registre os dados coletados. Expresse-os acompanhados de suas incertezas e utilize o número de algarismos significativos adequadamente.

Análise dos dados coletados

16) Expresse uma análise dos dados coletados experimentalmente. Considere as incertezas dos dados que você coletou.

17) Existiram diferenças entre os dados que foram medidos experimentalmente e as previsões derivadas do modelo teórico adotado? Se sim, por quê?

Conclusões

18) O que você concluiu do seu experimento? Avalie o modelo teórico de referência do seu experimento baseado nos seus resultados experimentais e proponha uma resposta para a questão de pesquisa da sua investigação.

19) Que recomendações você faria para um pesquisador que tivesse a intenção de reproduzir sua investigação? Que outro experimento poderia ter sido realizado para aprofundar o seu trabalho?

APÊNDICE M

Tarefas de leitura utilizadas no Estudo 3

Tarefa de Leitura para o Episódio de Modelagem “Arquimedes e a Coroa do Rei”

A atividade envolvida no próximo episódio de modelagem exigirá de você conhecimentos sobre as relações existentes entre alguns conceitos específicos como, por exemplo, *densidade*, *volume*, *massa*, *empuxo*, etc. Por isso, queremos que você realize uma tarefa antes de começar os trabalhos relacionados com a investigação que será desenvolvida no episódio de modelagem. Nessa tarefa, você fará inicialmente uma leitura e, em seguida, responderá algumas questões que envolvem, entre outras coisas, os conceitos tratados na leitura, assim como as dificuldades de compreensão enfrentadas.

A tarefa de leitura que você deverá realizar é a leitura das seções 15.1 e 15.4 do volume 2 do livro *Física: Uma abordagem estratégica*, de *Randall D. Knight*. Tais seções estão disponibilizadas no Moodle.

As respostas que você apresentar para as questões abaixo deverão ser enviadas até o dia 22/04 via Moodle. Elas serão analisadas e, nos primeiros 10 minutos da aula do dia 24/04, debateremos sobre as principais dificuldades enfrentadas na tarefa.

1) O que diferencia uma joia composta por ouro 18 quilates de outra composta por ouro 20 quilates? Para respondermos tal pergunta, precisamos entender que, devido ao fato de o ouro ser uma substância bastante maleável em seu estado puro, é usual que tal elemento seja misturado com uma porcentagem de outros metais (por exemplo, cobre e/ou prata) durante a produção de joias. Desse modo, o que diferencia uma joia com 18 quilates de uma com 20 quilates é, além do preço, a constituição da joia: um quilate indica que, em massa, $1/24$ da joia é composta por ouro puro. Em outras palavras, dizer que uma joia tem 18 quilates significa dizer que $18/24$ da massa da joia é constituída de ouro puro, enquanto que o restante dela, ou seja, $6/24$, é composto por outros metais.

Suponha que um indivíduo peça sua ajuda para identificar quantos quilates de ouro têm em uma joia. Ele dispõe das seguintes informações sobre a joia: sua massa é de 34,1 g e seu volume é $2,5 \text{ cm}^3$. O sujeito sabe também que apenas prata foi misturada na joia, e que a densidade do ouro é $19,3 \text{ g/cm}^3$ e a da prata é $10,5 \text{ g/cm}^3$. Construa um modelo matemático que possibilite que o indivíduo estime quantos quilates de ouro têm em sua joia. Destaque as simplificações da realidade que foram consideradas nesse modelo.

Utilizando o modelo que você construiu, calcule quantos quilates de ouro contêm na joia investigada.

2) O indivíduo que foi ajudado na questão anterior possui outra joia de ouro e prata que ele também quer investigar. No entanto, ele não tinha informações sobre a massa e o volume dessa outra joia. Desse modo, ele mediu a massa dessa joia utilizando uma balança de precisão, mas, devido ao fato de a joia ter um formato irregular, não conseguiu delinear um método para medir o volume da peça.

Apresente uma explicação para o indivíduo sobre como ele pode utilizar um dinamômetro para medir o volume da joia investigada. Destaque as simplificações da realidade que precisam ser consideradas na análise dos dados coletados com esse procedimento de medida.

3) Descreva brevemente qual(is) ponto(s) você teve mais dificuldade na tarefa de leitura, ou ainda o que achou confuso no material. Indique também os pontos que mais chamaram sua atenção. Sinta-se à vontade para fazer perguntas que possam auxiliar sua aprendizagem.

Tarefa de Leitura para a Atividade Experimental **“Calor Latente de Evaporação do Nitrogênio Líquido”**

Tarefa de leitura: As três páginas da seção 17.5 intitulada *Propriedades Térmicas da Matéria* presente no volume 2 do livro *Física: Uma abordagem estratégica*, de *Randall D. Knight*. Esse material está disponibilizado no Moodle.

Prazo de entrega: até o dia 13/05 via Moodle.

1) Explique com suas palavras o significado de *calor latente* e de *calor específico*. Procure comparar esses conceitos destacando suas diferenças e semelhanças.

2) Uma porção com 1 g evaporou da água contida em um recipiente. Supondo que a energia que possibilitou essa evaporação foi absorvida dos 500 g de água que permaneceram em estado líquido, estime a variação da temperatura provocada por esse processo na água do recipiente. Dados: o calor latente de evaporação da água é 2.250 J/g e o calor específico da água é 4,2 J/(g.°C).

3) O processo de evaporação é dinâmico, ou seja, na medida em que um líquido evapora com uma taxa dm/dt , o vapor produzido precisa absorver uma quantidade de energia dQ/dt . Expresse uma equação matemática que relacione a taxa de evaporação de um líquido dm/dt com a taxa de energia absorvida dQ/dt pelo vapor produzido. Explique o raciocínio que você desenvolveu na concepção dessa equação.

4) Descreva brevemente qual(is) ponto(s) você teve mais dificuldade na tarefa de leitura, ou ainda o que achou confuso no material. Indique também os pontos que mais chamaram sua atenção.

Sugestão de aprofundamento: Aos alunos que desejam aprofundar seus conhecimentos, sugerimos a leitura da seção 17.3 intitulada *Calor* presente no volume 2 do livro *Física: Uma abordagem estratégica*, de *Randall D. Knight*. Esse material também está disponibilizado no Moodle.

Tarefa de Leitura para o Episódio de Modelagem “Resfriamento de Sistemas”

Tarefa de leitura: As cinco páginas das seções 1.2 e 1.3 intituladas *A Matéria é Feita de Átomos e Processos Atômicos*, respectivamente, presentes no volume 1 do livro *Lições de Física*, de *Richard Feynman, Robert Leighton e Matthew Sands*. Esse material está disponibilizado no Moodle.

Prazo de entrega: até o dia 20/05 via Moodle.

- 1) Explique com suas palavras o processo de *evaporação* da água do ponto de vista atômico.

- 2) Suponha um recipiente contendo uma porção de água exposta ao ar. Quais as principais características desse recipiente, da água e do ar circundante que influenciam na taxa de evaporação da porção de água contida no recipiente? Explique também como e por que essas características influenciam na evaporação da água.

- 3) Descreva brevemente qual(is) ponto(s) você teve mais dificuldade na tarefa de leitura, ou ainda o que achou confuso no material. Indique também os pontos que mais chamaram sua atenção.

APÊNDICE N

Protocolo de avaliação de relatórios utilizado no Estudo 3

Não existe uma regra única sobre como deve ser confeccionado um bom relatório experimental. No entanto, podemos definir algumas características que diferenciam relatórios melhor elaborados de relatórios superficiais. É isso que fazemos no quadro abaixo: apresentamos características que desejamos que seus relatórios experimentais tenham.

Após cada atividade desenvolvida na disciplina, você deverá entregar ao professor um relatório da investigação realizada. Para isso, você se embasará nas *Diretrizes para a Elaboração de Relatórios de Física Experimental* e no seu caderno de laboratório. Na correção do seu relatório, serão utilizados os critérios apresentados no quadro abaixo, que será entregue para você com a terceira coluna preenchida com os seguintes símbolos: ✓, ½, e ✗, conforme se considere que o item foi bem, medianamente ou mal atendido, respectivamente. Comentários do professor serão propostos na última linha do quadro.

Aspecto	Critério de Avaliação do Relatório	Avaliação do professor
Objetivo da atividade	Relaciona o objetivo da atividade com um modelo teórico.	
	Faz referência somente a grandezas, objetos, relações teóricas ou eventos físicos previamente definidos no relatório.	
Referencial Teórico	Explicita as aplicações de leis e/ou princípios de uma teoria geral na situação física investigada, construindo um modelo teórico ³⁹ adequado para o experimento realizado.	
	Não apresenta erros conceituais.	
	Ressalta as implicações das simplificações da realidade consideradas durante a aplicação das leis e/ou princípios de uma teoria geral à situação física investigada.	
	Explicita os objetos reais do experimento realizado que são considerados no modelo teórico adotado, não confundindo objetos com as grandezas utilizadas para representar suas propriedades.	
Procedimento experimental	Explicita as grandezas que foram medidas.	
	Explicita os instrumentos de medida utilizados.	
	Explicita o arranjo experimental utilizado.	
	Explicita o evento físico investigado.	
	Explicita procedimentos tomados para se controlar variáveis, ou seja, procedimentos realizados para que os fatores desprezados pelo modelo teórico adotado influenciem minimamente os dados experimentais.	

³⁹ Nos casos em que são utilizados mais de um modelo teórico no delineamento e na análise dos experimentos, os critérios de avaliação devem ser adequados a todos modelos teóricos utilizados.

Aspecto	Critério de Avaliação do Relatório	Avaliação do professor
Apresentação e análise dos dados experimentais	Explicita como o modelo teórico adotado dirigiu a análise dos dados experimentais.	
	Utiliza ferramentas de representação (gráficos, tabelas, figuras pictóricas, etc.) para representar os dados coletados experimentalmente de forma adequada (e.g., explicita as grandezas representadas nos eixos dos gráficos, escolhe escalas adequadas para tais eixos, etc.).	
	Interpreta as representações apresentadas corretamente.	
	Explicita corretamente as incertezas de medida relacionadas com as imprecisões dos instrumentos de medida utilizados.	
	Calcula corretamente as incertezas propagadas das imprecisões intrínsecas dos instrumentos de medida utilizados.	
	Interpreta as incertezas de medida dos dados coletados experimentalmente, utilizando o número adequado de algarismos significativos para representá-los.	
	Ressalta as principais fontes de incerteza relacionadas com a imprecisão dos instrumentos de medida utilizados.	
	Ressalta as consequências das simplificações consideradas no modelo teórico adotado que não foram completamente respeitadas no experimento.	
Conclusões	Avalia o modelo teórico adotado no experimento.	
	Apresenta somente conclusões que contam com amparo de evidências experimentais.	
	Analisa as possíveis contribuições dos resultados experimentais para a resolução do problema que norteou a investigação realizada.	
Redação	Não apresenta erros ortográficos ou gramaticais.	
	Não apresenta frases cuja falta de clareza comprometem a sua compreensão.	
	Está estruturado em seções divididas apropriadamente.	

Comentários:

APÊNDICE O

Questionário 1 utilizado como teste inicial no Estudo 3

Com as três primeiras questões deste questionário buscamos obter um panorama das habilidades dos ingressantes da disciplina “Física Experimental II” para modelarem situações físicas. Suas respostas não serão consideradas como avaliação para essa disciplina. Nosso intuito é coletar informações para planejarmos uma disciplina mais adequada para você. Para isso, contamos com sua colaboração.

1. Você foi designado para investigar um acidente de trânsito. Uma criança foi atropelada, e você precisa estimar a velocidade do carro que a atropelou imediatamente antes do seu motorista acionar os freios. Pelas marcas no asfalto, sabe-se que as rodas foram travadas, possibilitando assim se medir a distância percorrida pelo automóvel durante a frenagem. Um perito que o ajuda na investigação lhe forneceu a aceleração do automóvel durante a frenagem que ele inferiu por meio de avaliações sobre as condições do acidente e de consultas de suas tabelas técnicas. Essas são as informações que você terá disponíveis para o desenvolvimento do seu trabalho. As questões que seguem referem-se às características da sua investigação.

a. Como você resolveria o problema?

b. Quais objetos da realidade (ex.: estrada, motorista, vítima, carro etc.) você levaria em conta para elaborar sua solução?

c. Quais grandezas físicas você levaria em consideração?

d. Você precisaria realizar alguma simplificação da realidade? Se sim, qual(is)?

e. Alguma representação do movimento do automóvel seria útil para facilitar o entendimento do seu raciocínio? Se sim, esboce-a. Em caso negativo, justifique.

2. Com as próximas 14 questões buscamos identificar suas concepções sobre modelagem científica e sobre a atividade experimental em Física. Gostaríamos de saber como você se posiciona em relação a cada uma das afirmações apresentadas. Para tanto, você deve expressar, em uma escala de cinco pontos, a extensão da sua concordância com cada uma das afirmações que serão apresentadas. Os cinco pontos são: CONCORDO FORTEMENTE (CF); CONCORDO (C); INDECISO (I); DISCORDO (D); e DISCORDO FORTEMENTE (DF). Faça um círculo ao redor da alternativa que melhor expressa seu posicionamento frente a cada uma das afirmações. Evite marcar muitas vezes INDECISO (I).

Afirmação		Escala de concordância				
2.01	Modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re) constrói.	CF	C	I	D	DF
2.02	Um modelo científico pode passar a representar sistemas físicos completamente diferentes daquele para o qual foi inicialmente concebido.	CF	C	I	D	DF
2.03	Modelos científicos devem ser modificados sempre que não estiverem de acordo com os dados empíricos ou com o corpo	CF	C	I	D	DF

Afirmação		Escala de concordância				
	de conhecimento já estabelecido.					
2.04	Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade.	CF	C	I	D	DF
2.05	A principal função de um modelo científico é a de servir como ferramenta de ensino.	CF	C	I	D	DF
2.06	Os resultados obtidos com um modelo científico jamais permitirão ir além de tudo aquilo que previamente se sabia sobre o sistema físico de interesse.	CF	C	I	D	DF
2.07	É possível construir diversos modelos científicos para o mesmo sistema físico, mas somente um será aceitável.	CF	C	I	D	DF
2.08	Há modelos científicos que permitem investigar sistemas que não existem na natureza.	CF	C	I	D	DF
2.09	Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF
2.10	Os cientistas frequentemente introduzem elementos hipotéticos, ignoram propriedades e fazem uso de entidades não observáveis na modelagem científica de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF
2.11	Um bom experimento de Física deve ser desenvolvido com um evento do mundo em seu estado natural, sem a influência de qualquer tipo de controle realizado intencionalmente pelo experimentador.	CF	C	I	D	DF
2.12	As diferenças entre os resultados previstos por meio dos modelos teóricos da Física e resultados experimentais são decorrentes, exclusivamente, da imprecisão dos instrumentos de medida utilizados.	CF	C	I	D	DF

APÊNDICE P

Questionário 1 utilizado como teste final no Estudo 3

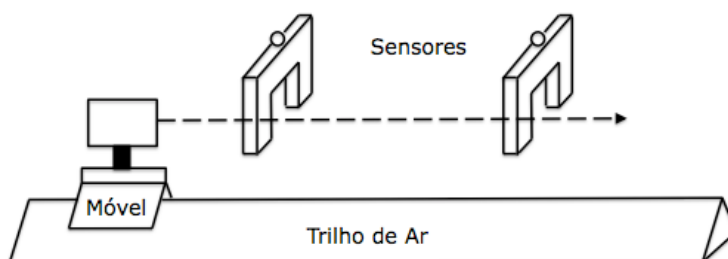
Com as duas primeiras questões deste questionário buscamos obter um panorama das habilidades dos alunos da disciplina “Física Experimental II” para modelarem situações físicas. Suas respostas não serão consideradas como avaliação para essa disciplina. Contamos com sua colaboração.

1. Você foi designado para investigar um acidente de trânsito. Uma criança foi atropelada, e você precisa estimar a velocidade do carro que a atropelou imediatamente antes do seu motorista acionar os freios. Pelas marcas no asfalto, é possível se medir a distância percorrida pelo automóvel durante a frenagem. Um perito que o ajuda na investigação lhe forneceu a aceleração do automóvel durante a frenagem que ele inferiu por meio de avaliações sobre as condições do acidente e de consultas de suas tabelas técnicas. Essas são as informações que você terá disponíveis para o desenvolvimento do seu trabalho. As questões que seguem referem-se às características da sua investigação.

- Como você resolveria o problema?
- Quais objetos da realidade (ex.: estrada, motorista, vítima, carro etc.) você levaria em conta para elaborar sua solução?
- Quais grandezas físicas você levaria em consideração?
- Você precisaria realizar alguma simplificação da realidade? Se sim, qual(is)?
- Alguma representação do movimento do automóvel seria útil para facilitar o entendimento do seu raciocínio? Se sim, esboce-a. Em caso negativo, justifique.

2. Os dados da tabela referem-se às medidas realizadas por meio de sensores eletrônicos da posição de um carrinho que deslizou sobre um trilho de ar semelhante ao apresentado na figura.

Tempo (s)	Posição (cm)
0,00	0,0
0,84	20,0
1,63	40,0
2,43	60,0
3,10	80,0
3,75	100,0



- Crie uma questão de investigação sobre a situação física promovida no experimento que possa ser respondida com os dados expostos na tabela.
- Apresente o raciocínio que poderia ser utilizado para se responder a questão construída no item a por meio da análise dos dados experimentais apresentados no enunciado do problema. Justifique os cálculos que precisariam ser realizados e utilize as representações que julgar necessárias. Obs: Não realize os cálculos necessário para resolver o problema. Apenas indique seu raciocínio.

c. Haveriam discrepâncias entre os valores medidos nesse experimento e os valores preditos pelo modelo que você utilizou na sua análise? Se sim, por quê?

3. Com as próximas 21 questões buscamos identificar suas concepções sobre modelagem científica e sobre a atividade experimental em Física. Primeiramente, gostaríamos de saber como você se posiciona em relação a cada uma das afirmações apresentadas. Para tanto, você deve expressar, em uma escala de cinco pontos, a extensão da sua concordância com cada uma das afirmações que serão apresentadas. Os cinco pontos são: CONCORDO FORTEMENTE (CF); CONCORDO (C); INDECISO (I); DISCORDO (D); e DISCORDO FORTEMENTE (DF). Faça um círculo ao redor da alternativa que melhor expressa seu posicionamento frente a cada uma das afirmações. Evite marcar muitas vezes INDECISO (I). Além de apontar o seu nível de concordância com cada uma das proposições, queremos que você apresente uma pequena argumentação justificando os seus posicionamentos frente a cada uma das afirmações apresentadas. A última coluna da tabela é reservada para a inserção dessas justificativas.

Afirmação		Escala de concordância					Justificativa
3.1	Modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re) constrói.	CF	C	I	D	DF	
3.2	Um modelo científico pode passar a representar sistemas físicos completamente diferentes daquele para o qual foi inicialmente concebido.	CF	C	I	D	DF	
3.3	Modelos científicos devem ser modificados sempre que não estiverem de acordo com os dados empíricos ou com o corpo de conhecimento já estabelecido.	CF	C	I	D	DF	
3.4	Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade.	CF	C	I	D	DF	
3.5	A principal função de um modelo científico é a de servir como ferramenta de ensino.	CF	C	I	D	DF	
3.6	Os resultados obtidos com um modelo científico jamais permitirão ir além de tudo aquilo que previamente se sabia sobre o sistema físico de interesse.	CF	C	I	D	DF	
3.7	É possível construir diversos modelos científicos para o mesmo sistema físico, mas somente um será aceitável.	CF	C	I	D	DF	
3.8	Há modelos científicos que permitem investigar sistemas que não existem na natureza.	CF	C	I	D	DF	

Afirmação		Escala de concordância					Justificativa
3.9	Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF	
3.10	Os cientistas frequentemente introduzem elementos hipotéticos, ignoram propriedades e fazem uso de entidades não observáveis na modelagem científica de sistemas físicos.	CF	C	I	D	DF	
3.11	Um bom experimento de Física deve, em seu desenvolvimento, envolver um evento do mundo em seu estado natural, sem a influência de qualquer tipo de controle intencional do experimentador.	CF	C	I	D	DF	
3.12	As diferenças entre os resultados previstos por meio dos modelos teóricos da Física e resultados experimentais são decorrentes, exclusivamente, da imprecisão dos instrumentos de medida utilizados.	CF	C	I	D	DF	
3.13	Um modelo científico é verdadeiro somente se as predições feitas a partir dele concordam perfeitamente com dados experimentais.	CF	C	I	D	DF	
3.14	Os instrumentos de medida mais adequados são aqueles capazes de quantificar grandezas físicas diretamente, ou seja, são aqueles que não derivam as grandezas desejadas a partir da medida de outras grandezas relacionadas.	CF	C	I	D	DF	
3.15	As predições quantitativas de um modelo científico sobre um sistema físico só são possíveis se forem conhecidas as medidas de algumas das características desse sistema.	CF	C	I	D	DF	
3.16	A validação de uma teoria geral científica envolve a sua contrastação direta com eventos reais por meio de investigações experimentais.	CF	C	I	D	DF	
3.17	Para o desenvolvimento de um experimento científico, o cientista	CF	C	I	D	DF	

Afirmação		Escala de concordância					Justificativa
	deve abster-se de ideias prévias.						
3.18	Para se conduzir uma boa contrastação experimental de uma teoria científica, é essencial que todas as teorias e dados envolvidos no processo sejam postos à prova durante a investigação.	CF	C	I	D	DF	
3.19	Para um modelo teórico ser científico, ele deve estar em completo acordo com a observação e/ou experimentação.	CF	C	I	D	DF	
3.20	Todo experimento científico é delineado a partir de algum pressuposto teórico sobre o evento investigado.	CF	C	I	D	DF	
3.21	Modelos são imprescindíveis no processo de validação de teorias gerais.	CF	C	I	D	DF	

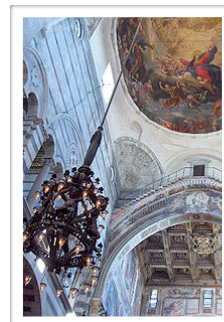
APÊNDICE Q

Guia das entrevistas semiestruturadas previstas para o Estudo 3

1. Fale sobre suas aulas de laboratório de Física. Fique à vontade para falar de todas as aulas de laboratório que você já participou.
2. Fale sobre a liberdade que foi dada aos alunos durante as atividades experimentais.
3. Fale sobre os Episódios de Modelagem que foram realizadas na disciplina.
4. Fale sobre o que você aprendeu com os Episódios de Modelagem. Fale sobre os guias de atividades. Fale sobre as tarefas de leitura. Fale sobre as rubricas.
5. Qual atividade experimental você considera que foi a mais proveitosa na disciplina? Por quê?
6. Fale sobre o sistema de avaliação das disciplinas de laboratório de Física.
7. Fale sobre o que você entende por teoria e por modelo.
8. Fale sobre o que você entende por modelagem.
9. Fale sobre os experimentos científicos.
10. Quais medidas devem ser tomadas quando ocorrem discrepâncias entre resultados experimentais e teóricos em uma investigação? Como elas devem ser avaliadas?

Problemas para serem resolvidos

Problema 1: Um artista produziu um lustre. Ele pretende suspendê-lo no teto de uma grande Igreja com uma corrente. Devido às ações do vento, o lustre poderá oscilar, e quanto maior a velocidade atingida pelo pêndulo, maior será a tensão sobre a corrente que o sustenta. Desse modo, é importante que o artista tenha uma estimativa da máxima velocidade que pode ser atingida pelo lustre quando ele oscila. Suponho que você fosse contratado para fazer essa estimativa, como você procederia? a) Que modelo poderia ser utilizado para descrever o movimento do lustre? b) Quais as principais características desse modelo? c) Que experimento poderia ser feito previamente para se dar credibilidade para sua estimativa? Explique o delineamento desse experimento destacando como os dados coletados seriam analisados.



Problema 2: De modo a combater a proliferação de microrganismos, é comum o resfriamento dos alimentos depois de cozidos. Nesse processo, é importante que tal resfriamento ocorra no menor tempo possível. No caso de um molho de tomate, por exemplo, é recomendado que a temperatura de 10°C seja atingida em, no máximo, duas horas. a) Que modelo pode ser utilizado para que o fabricante possa estimar a temperatura dos molhos com o transcorrer do tempo? b) Quais as principais características desse modelo? c) De que modo um fabricante de molhos pode otimizar o resfriamento dos seus produtos? d) Que experimento pode ser realizado com o intuito de avaliar o modelo que você propôs no item a desse problema? Explique o delineamento desse experimento destacando como os dados coletados seriam analisados.



APÊNDICE R

Resultados das questões objetivas do Questionário 1 do Estudo 3

Respostas dos participantes do Estudo Empírico 3 às questões objetivas do Questionário 1 inicial e final (Apêndices P e Q, respectivamente). São apresentadas as médias das respostas dos estudantes convertidas de acordo com o seguinte critério: os níveis de concordância Concordo Fortemente, Concordo, Indeciso ou sem opinião, Discordo, e Discordo Fortemente, foram computados com os números 5, 4, 3, 2 e 1, respectivamente.

Afirmativas	Médias (N = 11)	
	Teste inicial (Apêndice P)	Teste final (Apêndice Q)
1. Modelos científicos são construções humanas: sempre se originam na mente de quem os (re) constrói.	4,18	4,27
2. Um modelo científico pode passar a representar sistemas físicos completamente diferentes daquele para o qual foi inicialmente concebido.	3,63	3,45
3. Modelos científicos devem ser modificados sempre que não estiverem de acordo com os dados empíricos ou com o corpo de conhecimento já estabelecido.	2,82	2,73
4. Modelos científicos podem ser entendidos como descrições fiéis de aspectos da realidade.	2,27	1,09
5. A principal função de um modelo científico é a de servir como ferramenta de ensino.	1,91	2,09
6. Os resultados obtidos com um modelo científico jamais permitirão ir além de tudo aquilo que previamente se sabia sobre o sistema físico de interesse.	2,27	1,82
7. É possível construir diversos modelos científicos para o mesmo sistema físico, mas somente um será aceitável.	2,27	2,00
8. Há modelos científicos que permitem investigar sistemas que não existem na natureza.	3,64	2,91
9. Modelos científicos devem fornecer descrições exatas de sistemas físicos.	2,64	1,82
10. Os cientistas frequentemente introduzem elementos hipotéticos, ignoram propriedades e fazem uso de entidades não observáveis na modelagem científica de sistemas físicos.	3,64	4,18
11. Um bom experimento de Física deve ser desenvolvido com um evento do mundo em seu estado natural, sem a influência de qualquer tipo de controle realizado intencionalmente pelo experimentador.	2,82	1,73
12. As diferenças entre os resultados previstos por meio dos modelos teóricos da Física e resultados experimentais são decorrentes, exclusivamente, da imprecisão dos instrumentos de medida utilizados.	2,64	1,82
13. Um modelo científico é verdadeiro somente se as predições feitas a partir dele concordam perfeitamente com dados experimentais.	Não presente	2,00
14. Os instrumentos de medida mais adequados são aqueles capazes de quantificar grandezas físicas diretamente, ou seja, são aqueles que não derivam as grandezas desejadas a partir da medida de outras grandezas relacionadas.	Não presente	3,55
15. As predições quantitativas de um modelo científico sobre um sistema	Não	3,82

físico só são possíveis se forem conhecidas as medidas de algumas das características desse sistema.	presente	
16. A validação de uma teoria geral científica envolve a sua contrastação direta com eventos reais por meio de investigações experimentais.	Não presente	3,91
17. Para o desenvolvimento de um experimento científico, o cientista deve abster-se de ideias prévias.	Não presente	2,45
18. Para se conduzir uma boa contrastação experimental de uma teoria científica, é essencial que todas as teorias e dados envolvidos no processo sejam postos à prova durante a investigação.	Não presente	3,91
19. Para um modelo teórico ser científico, ele deve estar em completo acordo com a observação e/ou experimentação.	Não presente	2,91
20. Todo experimento científico é delineado a partir de algum pressuposto teórico sobre o evento investigado.	Não presente	4,18
21. Modelos são imprescindíveis no processo de validação de teorias gerais.	Não presente	4,55