

Luiz Henrique Martins Arthury

**O ENSINO DA NATUREZA DA CIÊNCIA NA ESCOLA POR
MEIO DE UM MATERIAL DIDÁTICO SOBRE A
GRAVITAÇÃO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Adolfo Terrazzan

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Arthur, Luiz Henrique Martins

O ensino da Natureza da Ciência na escola por meio de um material didático sobre a Gravitação / Luiz Henrique Martins Arthur ; orientador, Eduardo Adolfo Terrazan - Florianópolis, SC, 2016.

371 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Inclui referências

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Natureza da Ciência. 3. História e Filosofia da Ciência. 4. Gravitação no Ensino Médio. 5. Relatividade Geral no Ensino Médio. I. Terrazan, Eduardo Adolfo. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE DOUTORADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

**“O Ensino da Natureza da Ciência na Escola por meio de um
Material Didático sobre a Gravitação”**

Tese submetida ao Colegiado do Curso
de Doutorado em Educação Científica
e Tecnológica em cumprimento parcial
para a obtenção do título de Doutor
em Educação Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 10 de junho de 2016

Eduardo Adolfo Terrazzan (Orientador – CE/UFSM)

Marcelo Carbone Carneiro (Examinador – FC/UNESP)

Neusa Teresinha Massoni (Examinadora – IF/UFRGS)

Frederico Firmo de Souza Cruz (Examinador – CFM/UFSC)

Luiz Orlando de Quadro Peduzzi (Examinador – CFM/UFSC)

Henrique César da Silva (Examinador – CED/UFSC)

Sônia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz (Suplente – CFM/UFSC)

Sylvia Regina Pedrosa Maestrelli (Suplente – CCB/UFSC)

Carlos Alberto Marques
Coordenador do PPGET

Luiz Henrique Martins Arthur
Florianópolis, Santa Catarina, 2016

AGRADECIMENTOS

À minha valiosa família, Marla Merck Wagner e Julia Wagner Arthury, que compartilhou comigo esses anos de provação acadêmica e aguentou minhas infinitas horas de sofá e notebook.

Ao meu pai, filósofo por natureza, Luiz Augusto Lopes Arthury, e à minha polivalente mãe, Maria de Fátima Martins Arthury.

Aos meus multitalentosos irmãos, Luiz Gustavo Martins Arthury e Luiz Satrian Martins Arthury.

Ao prof. Dr. Eduardo Adolfo Terrazzan, pela orientação.

Ao prof. Dr. José De Pinho Alves Filho. Caro tio Pinho, espero que saibas a influência positiva que causastes entre os melhores de nós.

Aos profs. Drs. Marcelo Carbone Carneiro, Neusa Teresinha Massoni, Frederico Firmo de Souza Cruz, Luiz Orlando de Quadro Peduzzi e Henrique César da Silva, pelas contribuições diretas ao meu trabalho.

A todos os professores, funcionários e colegas do PPGECT por toda a prestação e companhia.

A todos os professores que fizeram parte de minha trajetória acadêmica na UFSC ao longo de mais de uma década, especialmente: Adriana Mohr, Sylvia Regina Pedrosa Maestrelli, Sonia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz, Nícia Luiza Duarte Da Silveira, Frederico Firmo de Souza Cruz, Luiz Orlando de Quadro Peduzzi, Demétrio Delizoicov Neto, José André Peres Angotti, Walter Antonio Bazzo, Marcelo Henrique Romano Tragtenberg e Nelson Canzian Da Silva.

RESUMO

Essa pesquisa teve como objetivo estabelecer um conjunto de parâmetros para um tratamento didático da Natureza da Ciência, junto a alunos de Física do Ensino Médio. Para atingir esse objetivo, procuramos responder o problema de pesquisa: “quais os condicionantes para a implementação, no Ensino Médio, de um material didático que trata da Natureza da Ciência baseado na visão de Lakatos, mediante uma abordagem da Gravitação, em conformidade com resultados de pesquisas em Educação em Ciências?”. Para esse fim, elaboramos uma unidade de ensino composta por textos sobre o desenvolvimento da Gravitação, com um olhar epistemológico baseado nos elementos da epistemologia de Lakatos, juntamente com apresentações eletrônicas e atividades baseadas nos assuntos trabalhados. O material confeccionado e sua implementação estiveram em consonância com sugestões da área educacional, particularmente as contribuições de Lee S. Shulman e Bob Gowin. A unidade de ensino proposta foi implementada por dois professores de Física do Ensino Médio, da rede federal de ensino (Institutos Federais). Por meio dessa pesquisa, caracterizada como qualitativa, obtivemos informações de diferentes fontes: alunos, professores e meio de interação social. Os dados obtidos possibilitaram avaliações importantes de todo o processo, permitindo a constituição de um conjunto de parâmetros e sugestões para uma implementação adequada de nossa proposta. Entre esses, consideramos aspectos relacionados ao uso de textos nas aulas, na apresentação de termos específicos da epistemologia aos alunos, e nas dificuldades enfrentadas tanto pelos alunos quanto pelos professores ao trabalhar com a unidade. Os parâmetros construídos a partir das constatações obtidas com a pesquisa intentam, finalmente, oferecer sugestões fundamentadas para outras atividades didáticas correlatas.

Palavras-chave: Ensino de Física; Natureza da Ciência; História e Filosofia da Ciência; Gravitação no Ensino Médio; Relatividade Geral no Ensino Médio.

ABSTRACT

This research aimed to establish a set of parameters for a didactic treatment of the Nature of Science, along with high school physics students. To achieve this goal, we seek to answer the research question: "what are the conditions for implementation, in high school, a courseware that addresses the Nature of Science based on Lakatos's view, following an approach of Gravitation, in accordance with results research in Science Education?". To this goal, we developed a teaching unit consisting of texts on the development of Gravitation, with an epistemological look based on elements of epistemology of Lakatos, along with electronic presentations and activities based on subjects worked. The educative material made and its implementation were in line with suggestions from the educational field, particularly the contributions of Lee S. Shulman and Bob Gowin. The proposed teaching unit was implemented by two physics teachers of high school, in the federal education system (Federal Institutes). Through this research, characterized as qualitative, information was obtained from different sources: students, teachers, and social interaction space. The data obtained enabled major reviews of the process, allowing the formation of a set of parameters and suggestions for proper implementation of our proposal. Among these, considerations related to the use of texts in class, presentation of specific terms of epistemology for the students, and the difficulties faced by both students and teachers to work with the unit. The parameters constructed from the findings obtained from the research intend ultimately offer grounded suggestions to other related educational activities.

Keywords: Physics Education; Nature of Science; History and Philosophy of Science; Gravitation in High School; General Relativity in high school.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre os instrumentos de coleta e as questões de pesquisa.....	103
Quadro 2 – Percepção inicial dos alunos, antes das discussões da unidade de ensino.....	113
Quadro 3 – Pareceres do grupo A.....	156
Quadro 4 – Pareceres do grupo B.....	157
Quadro 5 – Pareceres do grupo C.....	158
Quadro 6 – Pareceres do grupo D.....	159
Quadro 7 – Pareceres do grupo E.....	160
Quadro 8 – Resultados por aluno a partir da categorização realizada para as respostas dos alunos da turma A ao questionário.....	167
Quadro 9 – Resultados por aluno a partir da categorização realizada para as respostas dos alunos da turma B ao questionário.....	168
Quadro 10 – Extrato das entrevistas com os professores.....	189
Quadro 11 – Categorização das respostas dos alunos da turma A, ao questionário de receptividade.....	207
Quadro 12 – Categorização das respostas dos alunos da turma B, ao questionário de receptividade.....	208

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados gerais a partir da categorização realizada para as respostas dos alunos ao questionário – implementação piloto.....	117
Tabela 2 – Exemplares de respostas dos alunos à primeira afirmativa da primeira questão...	119
Tabela 3 - Exemplares de respostas dos alunos à segunda afirmativa da primeira questão....	120
Tabela 4 - Exemplares de respostas dos alunos à terceira afirmativa da primeira questão.....	122
Tabela 5 - Exemplares de respostas dos alunos à quarta afirmativa da primeira questão.....	123
Tabela 6 - Exemplares de respostas dos alunos à quinta afirmativa da primeira questão.....	125
Tabela 7 - Exemplares de respostas dos alunos à segunda questão.....	127
Tabela 8 - Exemplares de respostas dos alunos à terceira questão.....	128
Tabela 9 - Exemplares de respostas dos alunos à quarta questão.....	130
Tabela 10 - Exemplares de respostas dos alunos à quinta questão.....	131
Tabela 11 – Algumas ideias dos alunos da turma A sobre a ciência.....	143
Tabela 12 – Algumas ideias dos alunos da turma B sobre a ciência.....	149
Tabela 13 – Resultados gerais a partir da categorização realizada para as respostas dos alunos da turma A ao questionário.....	163
Tabela 14 – Resultados gerais a partir da categorização realizada para as respostas dos alunos da turma B ao questionário.....	165
Tabela 15 – Exemplares de respostas dos alunos à primeira afirmativa da primeira questão.....	169
Tabela 16 – Exemplares de respostas dos alunos à segunda afirmativa da primeira questão.....	171
Tabela 17 – Exemplares de respostas dos alunos à terceira afirmativa da primeira questão.....	173
Tabela 18 – Exemplares de respostas dos alunos da turma A à quarta afirmativa da primeira questão.....	175
Tabela 19 – Exemplares de respostas dos alunos à quinta afirmativa da primeira questão.....	176
Tabela 20 – Exemplares de respostas dos alunos à sexta afirmativa da primeira questão.....	178
Tabela 21 – Exemplares de respostas dos alunos da turma A à sétima afirmativa da primeira questão.....	179
Tabela 22 – Exemplares de respostas dos alunos à segunda questão.....	181
Tabela 23 – Exemplares de respostas dos alunos à terceira questão.....	183
Tabela 24 – Exemplares de respostas dos alunos à quarta questão.....	184
Tabela 25 – Exemplares de respostas dos alunos à quinta questão.....	186
Tabela 26 – Exemplares de respostas dos alunos à sexta questão.....	187
Tabela 27 – Exemplares das respostas dos alunos à primeira questão do questionário de receptividade.....	209
Tabela 28 – Exemplares das respostas dos alunos à segunda questão do questionário de receptividade.....	210
Tabela 29 – Exemplares das respostas dos alunos à terceira questão do questionário de receptividade.....	211
Tabela 30 – Exemplares das respostas dos alunos à quarta questão do questionário de receptividade.....	213

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	19
INTRODUÇÃO	23
1. A História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física	31
1.1 A constituição da amostra de trabalhos acadêmicos	31
1.2. Caracterização da produção acadêmica sobre a história e filosofia da ciência no ensino de física	31
2. A Natureza da Ciência e a Gravitação	45
2.1 A Epistemologia de Lakatos	45
2.2 Onde regressa Newton, progride Einstein	53
2.3 Alguns contrapontos ao racionalismo de Popper e Lakatos	60
2.4 Epílogo	64
3. Fundamentação conceitual	69
3.1 A Natureza da Ciência: concepções adotadas	73
3.2 O Conhecimento do Professor: Contribuições de Lee S. Shulman	77
3.3 A tríade professor-material-aluno: elementos da teoria educacional de Gowin	81
4. Procedimentos metodológicos	91
4.1 Problema de pesquisa	91
4.2 Questões de Pesquisa	91
4.3 Contexto da implementação da pesquisa	91
4.4 Procedimentos da pesquisa	93
4.5 Caracterização da pesquisa	95
4.6 Instrumentos de coleta	102
5. A Intervenção didática proposta	105
5.1 Caracterização da produção do material didático	105
5.2 Uma implementação piloto	111
5.2.1 As aulas	112
5.2.2 O retorno dos alunos	116
5.2.3 Constatações preliminares e reorientações da pesquisa	133
5.3 A implementação final	141
5.3.1 As aulas	142
5.3.1.1 Turma A	142
5.3.1.2 Turma B	148
6. Resultados	155
6.1 A atividade em grupo	155
6.2 O retorno dos alunos	161
6.3 O retorno dos professores	189
6.4 Algumas considerações: as partes e o todo	204
CONCLUSÃO	223

REFERÊNCIAS	231
APÊNDICES	245
Apêndice A - Planos de Ensino – A Natureza da Ciência em um Estudo com a Gravitação	247
Primeiro encontro	247
Segundo encontro	249
Terceiro encontro	250
Quarto encontro	251
Quinto encontro	252
Sexto encontro.....	253
Sétimo encontro.....	253
Apêndice B - Quadro sintético geral – Momentos, ações de ensino e objetivos	255
Apêndice C – Os textos para os alunos	259
<i>Texto 1</i> - Um despertar na Grécia	261
<i>Texto 2</i> - A supremacia da gravidade.....	271
<i>Texto 3</i> - A gravidade revisitada	281
Apêndice D – As apresentações eletrônicas	299
Slides 1 – Um despertar na Grécia.....	301
Slides 2 – A Supremacia da Gravidade.....	305
Slides 3 – A gravidade revisitada.....	309
Apêndice E – O site para disponibilização dos textos e apresentações	313
Apêndice F – Os trechos textuais usados na atividade em grupo	315
Grupo A.....	316
Grupo B.....	317
Grupo C.....	318
Grupo D.....	319
Grupo E	320
Apêndice G – Slides da atividade em grupo	321
Apêndice H – O questionário aos alunos	323
Apêndice I – Os planos de ensino – versão piloto	327
Apêndice J – Os textos para os alunos – versão piloto	335
Texto 1 – Um despertar da Grécia	337
Texto 2 – A supremacia da gravidade.....	345
Texto 3 – A gravidade revisitada	353
Texto 4 – Um pouco mais de lenha.....	361
Apêndice K - As apresentações eletrônicas – versão piloto	367
Slides 1 - Um despertar na Grécia.....	369
Slides 2 – A supremacia da gravidade	373
Slides 3 - A gravidade revisitada	377
Slides 4 – Um pouco mais de lenha	379
Apêndice L - Questionário aos alunos – versão piloto	381

Apêndice M – Roteiro de entrevista	383
Apêndice N – Transcrição e codificação da entrevista com o professor A	385
Apêndice O – Transcrição e codificação da entrevista com o professor B	391
Apêndice P – Questionário de recepção dos alunos	401

Apresentação

Cursei o ensino fundamental na rede pública de ensino e não apresentava muita propensão à leitura e ao conhecimento de forma geral, embora tivesse, na segunda metade desta fase de ensino, começado a desenvolver um interesse pela tecnologia. Não apenas um interesse em relação à aplicação da tecnologia, mas fundamentalmente ao entendimento de suas bases. O porquê de um diodo conduzir corrente elétrica em apenas um sentido era algo perturbador, lembro-me.

A consequência natural deste interesse foi meu ingresso na então Escola Técnica Federal de Santa Catarina, atual Instituto Federal de Santa Catarina (instituição onde hoje sou professor efetivo). Cursei (e me formei) o Técnico em Eletrônica, curso que, juntamente com a influência de alguns professores, fez-me cultivar um interesse crescente pela física, e pela ciência em geral. Lembro-me de ter aprendido as bases teóricas do funcionamento de um transistor, momento alto de meu curso. Fiquei surpreso e maravilhado em conhecer algumas propriedades do estado sólido (semicondutores), juntamente com algumas outras conversas sobre física moderna, o que aumentou meu interesse pelo curso em geral. Mas cedo constatei que isto não seria uma constante, e sim um momento singular propiciado por um professor singular¹. O restante do curso foi o que já deveria ser esperado: um ensino voltado mais para a prática, e menos ao entendimento das bases físicas dos fenômenos eletrônicos, como é, de fato, o objetivo de um curso técnico.

Embora, até então, meu interesse fosse estudar engenharia elétrica, progressivamente percebi que mais da metade dos livros que tinha lido até então versava sobre aspectos da filosofia e da ciência. Lembro-me de um primeiro impacto propiciado pelo “O Mundo de Sofia”, seguido pelos livros de Carl Sagan e Isaac Asimov. Particularmente marcante foi “As Aventuras do Sr. Tompkins”, do físico George Gamow. Ironicamente, Gamow seria um dos principais cientistas abordados em meu trabalho de mestrado. Na sequência, mesmo sem ter maiores conhecimentos de física e matemática, lembro-me de ter comprado o livro “Sutil é o Senhor”, a grande biografia de Einstein. Sem perceber na época, eu já tinha sido fisgado pela física e, pouco tempo depois, uma sólida decisão levou-me a cursar física na UFSC. Esse curso me propiciou bons momentos de satisfação e desafio intelectual, sendo que, desde cedo no curso, mantive

¹ Penso ser interessante citarmos os bons exemplos, do que menciono aqui seu nome: Paulo Wollinger.

leituras paralelas sobre história e filosofia da ciência, uma vez que pouco neste sentido foi feito pela graduação. Intrigou-me o fato de que muitos de meus colegas não conheciam o essencial da história de sua própria disciplina, o que frustrava um pouco os diálogos sobre ciência que eu mantinha com alguns deles.

Analogamente ao que acontecia nos tempos do curso de eletrônica, onde me incomodava o fato de haver poucas discussões sobre as bases dos fenômenos associados à eletrônica, agora o que me inquietava era a falta de discussões sobre como se chegou aos conhecimentos científicos estudados. Suprindo, sempre que possível, esta lacuna com leituras paralelas, comecei a ficar consciente de meu interesse em fazer uma pós-graduação que me possibilitasse aprofundar questões sobre história e filosofia da ciência.

Entretentes, mantendo-me na docência (física e matemática, ensino fundamental e médio), pude constatar de perto o que a literatura especializada, que conheci durante o mestrado, denunciava: não apenas alunos, mas também *professores* de ciências têm (e propalam de forma perniciosa, no caso destes últimos) visões inadequadas sobre a atividade científica, em relação aos apontamentos da literatura especializada na área de história e filosofia da ciência.

Não é propriamente uma surpresa, a julgar pela formação dos professores, formação esta que conheci de perto como aluno. Excetuando-se alguns professores, principalmente das disciplinas de licenciatura, existe pouco compromisso em relação às bases da atividade científica, em um meio (a graduação) que deveria justamente primar por uma educação *científica*, ou seja, com base não só em seus resultados, como também em seus processos de validação. Claro, estes processos demandam profundas análises aportadas em diversos autores, como Kuhn, Popper, Lakatos e Feyerabend. É um desafio que, longe de nos resignar frente à dificuldade de entendimento da prática científica, deve nos motivar nos esforços de compreender, tanto quanto possível, como a ciência funciona. E, fundamentalmente, motivar-nos na busca de soluções para uma prática docente indissolúvel de uma educação científica de qualidade.

O passo seguinte, natural e inevitável, foi fazer o mestrado do PPGECT, onde pude finalmente aprender mais, discutir e pesquisar sobre os assuntos que já então formavam um importante fio condutor em minhas aulas.

Certamente, um ponto alto do mestrado foi a disciplina de Epistemologia (Ensino de Ciências e Contribuições da Epistemologia). O professor Angotti soube conduzir magistralmente as discussões sobre os epistemólogos, que já então eu conhecia, mas não com a profundidade e

sistematização propiciadas pela disciplina. Não obstante, sempre ficava, para mim, faltando ainda mais detalhes de cada linha argumentativa. Embora meu interesse inicial fosse trabalhar com Feyerabend, onde os elementos de sua epistemologia guiariam o desenvolvimento de uma unidade de ensino sobre física moderna (cosmologia), cedo percebi a dificuldade em se propor um ensino baseado justamente naquele que desferiu duros golpes na chamada “metodologia científica”. A melhor escolha, em função do tipo de formulação para o texto principal, foi utilizar os elementos da epistemologia de Lakatos, por permitir uma boa caracterização do embate entre teorias rivais por meio da noção de progressão e regressão de programas de pesquisa científica. Esta escolha foi acertada, pois permitiu um bom encadeamento ao texto e um bom instrumento de análise das formas de proceder da ciência, ora representada pela evolução dos conceitos da cosmologia moderna, tema principal da pesquisa. Naturalmente, nada disto seria possível sem uma orientação precisa e lapidante, propiciada pelo professor Peduzzi.

Ainda que eu tenha também boas experiências com aulas experimentais, onde os alunos costumam mostrar bastante interesse frente à possibilidade de “ver” o que se está estudando, as aulas realizadas com base em exemplos históricos, juntamente com a discussão dos elementos epistemológicos (no nível adequado à fase do aluno), têm me mantido confiante na potencialidade destas estratégias para uma educação científica mais próxima de uma adequada caracterização da Natureza da Ciência, pelo menos até o nível onde isso é possível e desejável. Naturalmente, as aulas experimentais têm uma grande importância. Os alunos sempre gostam de verificar na prática os exemplos estudados de dinâmica e estática, termologia, ótica, eletromagnetismo, etc. Mas quando se trata de formar uma imagem mais abrangente da atividade científica, parece claro que apenas isso não basta. O aluno precisa presenciar, sempre que possível, os fenômenos físicos básicos que ele estuda, juntamente com atividades e exercícios de fixação do livro didático, mas se não houver uma sistematização no sentido de levá-lo a perceber o papel da experimentação na pesquisa científica, teremos falhado em ensinar ciência. Como Kuhn colocou, “um conceito da ciência extraído das suas páginas não tem maiores probabilidades de a representar corretamente do que uma imagem dum cultura nacional extraída de um folheto turístico ou dum manual de linguagem” (Kuhn, 1970, p. 19).

A continuação natural deste processo me leva então a um maior aprofundamento dessas preocupações, para que, concomitantemente à minha atividade docente, eu possa efetivamente contribuir com o ensino

de ciências, produzindo um corpo de conhecimentos relativos à prática do professor em atuação, particularmente relacionados a atividades didáticas visando o ensino da Natureza da Ciência em sala de aula. É o que trataremos nesse trabalho.

Introdução

Apesar de a História e Filosofia da Ciência constituir uma linha de pesquisa relativamente bastante revisitada nesta última década (Cachapuz et al., 2008, Silva et al., 2013), seus resultados, assim como outros produzidos pela pesquisa em Educação em Ciências, têm produzido pouco impacto nas salas de aula (Peduzzi et al., 1992, Freire Jr., 2002, Delizoicov, 2004 e 2005, Rezende e Ostermann, 2005, Pena e Filho, 2008). Relativamente à transposição das pesquisas em Ensino em Ciências para a prática docente no contexto escolar, Pena e Filho sugerem que os principais entraves residem na formação do professor, “o que implica em ações, no âmbito da graduação e da pós-graduação, que favoreçam a relação entre a pesquisa em Ensino de Física e a prática docente” (2008, p. 435).

A preocupação com uma desejável cultura acadêmica de se fazer com que os resultados das pesquisas em ensino influenciem diretamente esse, depende em muito da qualidade da formação de novos professores, mas acreditamos que essa preocupação deva também se dar com os professores em atuação nas salas de aula, ou seja, que já estão na docência hoje. Naturalmente, não apenas com a produção de materiais adequados que visem fornecer ao professor subsídios para aulas mais consoantes com recomendações das pesquisas em Educação em Ciências, mas também com maneiras de fazer com que esses materiais cheguem efetivamente à sala de aula.

Por vezes se ouve que “os materiais estão aí, basta o professor procurar”. Esse tipo de conduta, que relega ao professor a responsabilidade de usufruir por conta o que a academia produz, acaba por propalar a cisão existente entre pesquisa e práxis educativa (Zeichner, 1998). Por isso pensamos que qualquer proposta didática deve estar permeada por esforços que ultrapassem aquela cisão. É preciso fazer brilhar o Sol, como dizia Celestin Freinet (1985). Claro, para que se diminua a necessidade dessas preocupações, é necessário que o professor adquira, em sua formação inicial, uma índole crítica e investigativa. Fica bastante difícil levar os alunos a adquirirem uma visão mais adequada da atividade científica se o professor não a possui e não busca maneiras de sofisticar sua própria visão a respeito.

Então, para um panorama compromissado com uma melhor educação científica nas escolas, torna-se mister a atenção permanente com a formação de professores, uma vez que se entende que estes são de inigualável importância em toda e qualquer proposta de uma educação de

qualidade. “Os professores bem (in)formados [...] podem recuperar um mau currículo e professores com graves deficiências de formação podem matar um bom currículo” (Praia, Cachapuz & Gil-Pérez, 2002, p. 140).

Uma formação acadêmica deficiente se reflete, entre outros, em uma visão inadequada da atividade científica, propalada inadvertidamente mesmo por autores responsáveis pela formação da imagem da ciência entre os alunos (Fernández et al. 2002). Não é o caso de promover uma análise extensa dos pormenores da filosofia da ciência com esses alunos, uma vez que “o objetivo a perseguir não é formar filósofos nem sociólogos da ciência, mas ajudar a compreender melhor a ciência e a tecnologia contemporâneas” (Acevedo et al., 2005, p. 2). Porém, o professor deve contemplar um bom número de questões voltadas a uma caracterização adequada da ciência, tanto quanto possível. Se para o aluno as questões históricas e epistemológicas devem ser tratadas com parcimônia, uma vez que está em jogo toda sua compreensão do que venha a ser a atividade científica, para o professor estas questões são ainda mais importantes, uma vez que são elas que lhe possibilita uma visão abrangente da atividade científica, de modo a melhor conduzir o aluno à desejada compreensão dessa.

O professor, diferentemente do filósofo ou do cientista, tem um papel que visa a transposição, não só do conhecimento científico, como das características da ciência que, longe de serem hegemônicas, cobrem todo um espectro de diferentes concepções, de diferentes pensadores.

Se, ao filósofo e historiador, é difícil a adoção de uma postura eclética, o educador científico pode, e deve, valer-se do pluralismo de versões, mostrando como cada uma delas revela diferentes facetas do conhecimento científico. Este posicionamento é particularmente necessário no que diz respeito à formação de professores de física, tanto para o curso secundário como para a universidade (Zylbersztajn, 1988, p. 46).

Ou seja, enquanto um historiador frequentemente dispõe de uma visão específica sobre a atividade científica, o professor deveria valer-se de um pluralismo que o possibilitasse levar essa discussão aos seus alunos de modo que esses possam formar sua própria visão. O que naturalmente fica bastante dificultado por sua própria formação:

[...] os professores de ciências encontram-se em um dilema: como licenciados, foram formados

(usualmente da mesma maneira que os bacharéis) em um pensamento convergente, ou seja, foram condicionados a pensar os sistemas naturais estritamente por meio dos paradigmas, sem a menor possibilidade de questioná-los durante sua formação. Em sala de aula, porém, o seu objeto de trabalho enquanto professores – ou seja, o aluno – não pode ser compreendido a partir de um único sistema de pensamento. O professor precisa desenvolver maneiras diferentes de olhar para o “mesmo” fenômeno e se aventurar pelo pensamento divergente: paradigmas às vezes complementares, às vezes até mesmo opostos em sua fundamentação podem ser utilizados para as reflexões seja *in actu* – no momento da aula – ou antes/depois da mesma (Vilas Boas et. al., 2013, p. 315).

Naturalmente, este pluralismo precisa ser tratado com cuidado em sua formação inicial (e, propomos, ao longo de toda sua educação básica), em função das diversas e, por vezes, divergentes posições filosóficas a respeito da atividade científica. Segundo Gill Pérez et. al. (2001, p. 135), essas posições divergentes podem causar “[...] uma certa perplexidade entre os professores e investigadores em Didática das Ciências e leva a questionar se faz sentido falar de *uma* concepção correta de ciência e se vale, pois, a pena incluir a filosofia da ciência nos programas de formação de professores”. Naturalmente, nossa visão se assenta em uma resposta positiva a esta última questão, uma vez que, se não existe o *método científico*, no singular (conforme discutiremos neste trabalho), podemos ao menos traçar um quadro mais compromissado com a natureza da atividade científica na medida em que isso é possível e desejável, por meio da análise de episódios que demonstram a produção do conhecimento científico.

Gill Pérez et. al. comentam sobre alguns elementos desejáveis a uma imagem mais adequada² da produção de conhecimento científico, como: a) a recusa de *um* Método Científico, em maiúsculas; b) a recusa

² Preferimos nos referir a “imagens inadequadas” para se referir a conhecimentos não consoantes com os aspectos da atividade científica defendidos pelos autores especializados, como os que apresentamos no capítulo 1. É possível encontrar também o termo visões distorcidas ou deformadas, como, por exemplo, em Fernández et al., 2002.

de um empirismo que concebe os conhecimentos como resultados da inferência indutiva a partir de “dados puros”; c) o destacamento do papel atribuído pela investigação ao pensamento divergente; d) a procura de coerência global; e, finalmente, e) a compreensão do caráter social do desenvolvimento científico (2001, p. 136). Com esta pesquisa desejamos conhecer mais de perto alguns condicionantes para um tratamento da Natureza da Ciência no Ensino Médio, que possibilite ao aluno adquirir uma visão mais adequada da atividade científica, ouvindo professores em atuação e produzindo um conjunto de conhecimentos potencialmente útil e esclarecedor para novas propostas didáticas voltadas ao ensino de ciências, com foco no ensino da Natureza da Ciência.

Como mencionamos anteriormente, é muito importante que o professor inicie sua profissão com requisitos suficientes em relação a uma imagem adequada da atividade científica, construída em sua formação inicial. Infelizmente, esse estado ótimo não é algo garantido pela formação de professores, como discutiremos no primeiro capítulo. Nesse contexto, de uma formação que possivelmente ainda apresenta lacunas, encontra-se nossa pesquisa aqui relatada. Ao atentar para o trabalho do professor que já se encontra em sua atuação profissional em sala de aula, acreditamos que uma importante contribuição pode ser dada à educação científica do aluno, em um tempo relativamente reduzido. Porém, não desejamos realizar um estudo meramente pragmático, de suporte ao professor, apenas. Não é nosso interesse simplesmente produzir materiais didáticos que supostamente melhorem a prática do professor (como se tudo o que ele precisasse fosse de mais materiais), o que estaria propagando uma “visão instrumentalista da pesquisa em ensino e muitas vezes tecnicista do processo educativo, que visa basicamente ao fornecimento de subsídios ao professor para melhorar o desempenho do aluno” (Rezende, Ostermann e Ferraz, 2009, p. 1402-5). O processo para o melhoramento do desempenho do aluno passa por muitas instâncias, e sabemos que não será um material didático a mais que resolverá a situação. Por isso temos um interesse acadêmico de pesquisa, no sentido de conhecermos mais de perto alguns condicionantes para o tratamento da Natureza da Ciência no Ensino Médio, mas acreditamos que o fato de isso ser engendrado a partir da situação cotidiana do professor em sala de aula possa, também, ser de grande valia para esse e seus alunos.

Buscamos então parcerias com professores em atuação no Ensino Médio, em uma relação de colaboração que ultrapassasse a divisão atualmente existente entre professores e pesquisadores acadêmicos.

Hoje muitos professores sentem que a pesquisa educacional conduzida pelos acadêmicos é irrelevante para suas vidas nas escolas. [...] Por outro lado, muitos acadêmicos nas universidades rejeitam a pesquisa dos professores das escolas por considerá-la trivial, ateorica e irrelevante para seus trabalhos (Zeichner, 1998, p. 207).

Propomos, portanto, uma pesquisa com o permanente auxílio desses professores, buscando sua ciência da importância de seu papel imprescindível na pesquisa. Buscamos, assim, maneiras de se compreender melhor algumas questões que aportem adequadamente novas práticas de ensino. Entre estas questões, destacamos o papel da História e Filosofia da Ciência no ensino, a necessidade de se trabalhar melhor aspectos sobre a Natureza da Ciência, e um corpo de conhecimentos relativos à prática do professor nas salas de aula, contemplando, por sua vez, elementos relativos à própria aceitação do aluno e sua relação com o conhecimento trabalhado. Como já sugerido, a história da ciência pode propiciar uma abordagem de grande valia em relação a esta aceitação, enquanto que discussões devidamente instrumentalizadas sobre a Natureza da Ciência podem enriquecer a visão do aluno sobre as características e o alcance desta, fugindo, ainda, dos discursos pseudocientíficos muitas vezes propalados na sociedade. Em outras palavras e parafraseando Gerald Holton, podemos assim contribuir para uma maior sanidade social³.

Apresentamos então o foco e o objetivo da pesquisa:

Foco da pesquisa

Tratamento didático da Natureza da Ciência como conteúdo de ensino em aulas de Física no Ensino Médio.

Objetivo

Estabelecer um conjunto de parâmetros para um tratamento didático da Natureza da Ciência, baseado na visão de Lakatos, como conteúdo de ensino em aulas de Física no Ensino Médio, mediante uma

³ “A educação científica não é apenas uma questão de democracia, mas de sanidade social” (Holton, 2006, p. 322).

abordagem da Gravitação, em conformidade com os resultados de pesquisas em Educação em Ciências.

Para atingir esse objetivo, estruturamos o seguinte problema de pesquisa e questões de pesquisa, apresentados também no capítulo 4, sobre os procedimentos metodológicos. Problema de pesquisa: “Quais os condicionantes para a implementação, no Ensino Médio, de um material didático que trata da Natureza da Ciência baseado na visão de Lakatos, mediante uma abordagem da Gravitação, em conformidade com resultados de pesquisas em Educação em Ciências?”. Questões de pesquisa: 1. Qual a recepção geral, por parte dos professores e alunos, de um material didático que trata da Natureza da Ciência baseado na visão de Lakatos, mediante uma abordagem da Gravitação, em conformidade com resultados de pesquisas em Educação em Ciências? 2. Qual a influência da utilização desse material na compreensão dos alunos sobre a Natureza da Ciência na visão de Lakatos? 3. Que dificuldades foram apresentadas pelo professor ao implementar a unidade de ensino proposta? 4. Que dificuldades foram apresentadas pelos alunos ao longo da implementação da unidade de ensino proposta?

No **capítulo 1** faremos uma discussão a respeito da história e filosofia da ciência no ensino de física, palco para o foco de nossa pesquisa. Comentaremos sobre a amostra de trabalhos acadêmicos relacionados aos temas relevantes aos nossos propósitos, seguida da caracterização dessa produção acadêmica.

No **capítulo 2** apresentaremos a epistemologia de Lakatos, cujos elementos foram trabalhados com os alunos nas discussões sobre a Natureza da Ciência. Esse capítulo serviu ainda como texto de apoio ao professor, cuja leitura foi feita nos momentos de preparação para a implementação da unidade de ensino proposta.

No **capítulo 3** discutiremos sobre nossa fundamentação conceitual, onde discorreremos sobre as concepções adotadas referentes à atividade científica. Traremos algumas ideias de Shulman a respeito dos conhecimentos do professor, onde articularemos os conhecimentos desejáveis a esse com os propósitos de nossa pesquisa. Também apresentaremos alguns elementos da teoria educacional de Bob Gowin, relativos à relação entre professor, aluno e material didático, para fundamentar o material produzido e implementado nessa pesquisa.

No **capítulo 4** apresentaremos os procedimentos metodológicos de nossa pesquisa, com o **problema e questões de pesquisa**. Nesse capítulo

explicitaremos os procedimentos adotados, bem como a caracterização da pesquisa e os instrumentos de coleta de dados, fonte para a construção de nossas respostas, relativas às questões de pesquisa.

No **capítulo 5** discorreremos sobre a implementação da unidade de ensino proposta, a implementação da pesquisa propriamente dita: a caracterização da produção do material didático, os planejamentos e o relato das atividades.

No **capítulo 6** apresentamos os resultados obtidos com a implementação da unidade de ensino, discutindo e procurando estabelecer relações entre esses resultados e nossas questões de pesquisa.

Por fim, tecemos nossas respostas à guisa de conclusão de nosso trabalho, procurando destacar soluções para nosso problema de pesquisa e possíveis recomendações para a Educação em Ciências.

1. A História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física

Iremos neste capítulo apresentar as considerações mais relevantes, aos nossos propósitos, a respeito da relação entre a História e Filosofia da Ciência e o Ensino de Física, presentes na academia. Apresentamos a seguir as fontes dos trabalhos acadêmicos consultados, e na sequência fazemos uma caracterização da produção acadêmica atual a partir dessas fontes.

1.1 A constituição da amostra de trabalhos acadêmicos

Para subsidiar a presente pesquisa, foram pesquisados os principais periódicos nacionais relacionados ao ensino de ciências, com ênfase no ensino de física. Além do portal capes, onde foram pesquisados os termos “história e filosofia da ciência”, “Natureza da Ciência”, “Gravitação” e “cosmologia” (temas do conteúdo de física trabalhado), foram lidos todos os resumos relacionados aos temas dessa pesquisa, dos últimos dez anos, dos periódicos: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Ciência e Educação, Investigações em Ensino de Ciências e Experiências em Ensino de Ciências. Os artigos que se aproximavam dos temas dessa pesquisa foram integralmente selecionados e arquivados digitalmente, compondo a fonte básica das discussões realizadas neste capítulo. Naturalmente, também foram consultados artigos mais antigos que o período considerado, quando diretamente relevantes aos nossos objetivos. Foram ainda consultados os periódicos internacionais *Science & Education* e *Enseñanza de las Ciencias*, por sua importância na área. Além disso, é natural que nesses artigos consultados existam referências a outros trabalhos que passam a ser de interesse, remetendo-nos a outros periódicos não consultados sistematicamente, como a *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, o *Journal of Research in Science Teaching* e a Revista Brasileira de História da Ciência.

1.2. Caracterização da produção acadêmica sobre a história e filosofia da ciência no ensino de física

Um dos pioneiros a implementar propostas de ensino mais compromissadas com a Natureza da Ciência foi Gerald Holton,

organizador de um projeto que viria ser referência para outros na área. O Projeto Harvard de Ensino de Física⁴, na década de 70, possuía uma abordagem que transcendia o currículo tradicional desta ciência, abordando suas relações e com outras áreas do saber, que melhor justificavam o conhecimento científico na sociedade. Holton é contundente ao sugerir que “o público que não tem conhecimento científico suficiente, mesmo que de forma elementar, seja através da educação escolar, seja através de leituras, não é propriamente são. [...] A educação científica não é apenas uma questão de democracia, mas de sanidade social” (Holton, citado em Oliveira e Freire, 2006, p. 322). E justamente pela importância do ensino da ciência, Holton defende que abordagens conectivas, ou seja, contextualizadas e preocupadas com questões históricas e relações com outras áreas do conhecimento, podem atrair um número maior de alunos para esta disciplina, que costuma ter uma baixa procura pelos estudantes em geral (Holton, 1979). “Verificamos que uma abordagem mais humanista da ciência pode ampliar o grupo de estudantes em potencial” (Holton, 1979, p. 252). De fato, o Projeto Harvard, e suas extensões aos níveis mais básicos de educação, chegou a atingir 15% dos alunos de todo os Estados Unidos, elevando as médias dos estudantes em ciências (Matthews, 1995).

Naturalmente o contexto onde este projeto foi aplicado era distinto da educação brasileira, mas seus resultados positivos sugeriam que propostas semelhantes podiam ser de valia em outras instituições e países. Foi o que aconteceu no Brasil, quando o projeto Harvard influenciou parte dos projetos nacionais na década de 70, como o PEF, e ainda mais diretamente a partir da década de 80, quando da tradução do Projeto Harvard para nosso idioma, o que resultou em um aumento do interesse pela pesquisa na área, pelos pesquisadores em ensino de física (Pena, 2012).

Holton sugeria, no projeto Harvard, um ensino que servisse ao propósito de “desenvolver uma sequência de ideias organicamente relacionadas, cujo estudo leva o aluno a um ponto de vista mais elevado, uma visão mais geral da natureza funcional, do estilo de vida do cientista e do poder da mente humana” (Holton, 1979, p. 255). Vários autores compactuam com esta sugestão (Martins, 1990, Matthews, 1995, Villani, 2001, Zylbersztajn, 1988, Solbes & Traver, 2001, Silveira, 2006, Peduzzi,

⁴ O nome original desse projeto é *Project Physics Course*. Referimo-nos a esse projeto por Projeto Harvard, termo que se tornou corrente em nosso país (Pena, 2012).

1992, Gil-Pérez, 2002, Freire Jr., 2002, Moreira, 2007, Gagliardi, 1988, Teixeira et al., 2001, Massoni, 2007).

Os profissionais que defendem a utilização da história e a filosofia da ciência no ensino buscam maneiras mais efetivas de se obter uma educação científica abrangente em diversos contextos: “ético, social, histórico, filosófico e tecnológico; o que não deixa de ser um redimensionamento do velho argumento de que o ensino de ciências deveria ser, simultaneamente, *em* e *sobre* ciências” (Matthews, 1995, p. 166).

O “velho argumento” na citação acima se refere a propostas do final do século XIX, quando o físico e filósofo Ernst Mach já defendia a compreensão do desenvolvimento histórico dos conceitos para que as teorias sejam melhor compreendidas.

A investigação histórica do desenvolvimento da ciência é extremamente necessária a fim de que os princípios que guarda como tesouros não se tornem um sistema de preceitos apenas parcialmente compreendidos ou, o que é pior, um sistema de pré-conceitos. A investigação histórica não somente promove a compreensão daquilo que existe agora, mas também nos apresenta novas possibilidades (Mach, citado em Matthews, 1995, p. 169).

Algumas críticas a este tipo de ensino podem ser encontradas em Martin Klein e Thomas Kuhn (Matthews, 1995), Sánchez Ron, 1988, e em Acevedo et al., 2005. Este último coloca que o ensino da Natureza da Ciência deve estar a serviço da educação em ciências, mas alerta para o uso abusivo de sua proposta. Acevedo et al. sugere que os debates em torno da epistemologia não interessam ao aluno, e que o ensino da Natureza da Ciência teria um grande problema, diga-se, o de se propor qual visão de ciência será ensinada. Naturalmente existe um pluralismo de visões epistemológicas, de diferentes pensadores em diferentes épocas, o que certamente exige um conhecimento adequado e um discernimento por parte do professor, para que possa escolher quais elementos serão usados no ensino, sem que se passe uma imagem inadequada da atividade científica.

Para Klein (apud Matthews, 1995), os recortes históricos realizados com fins educativos implicam em uma história de má qualidade e que, portanto, é preferível não usá-la. Embora aceitemos que a história precisa ser simplificada para que seja utilizada com o propósito

de se trabalhar com a Natureza da Ciência em sala de aula, não pensamos que essa história seja necessariamente de má qualidade, do mesmo modo como as simplificações habitualmente feitas na física escolar não a fazem uma física de má qualidade. O contra-argumento de Matthews é contundente:

Na pedagogia, como na maioria das coisas, muitas vezes a matéria tem que ser simplificada. E isto é tão verdadeiro para a história da ciência quanto o é para a economia, ou para a própria ciência. Porém o fato de que a história da ciência seja simplificada não se torna um argumento decisivo contra ela. A tarefa da pedagogia é, então, a de produzir uma história simplificada que lance uma luz sobre a matéria, mas que não seja uma mera caricatura do processo histórico. (Matthews, 1995, p. 177).

Os apontamentos feitos por Kuhn se relacionam com a própria formação do cientista, onde não haveria lugar para críticas do que está sendo ensinado. Para Kuhn, a educação do cientista “semeia o que a comunidade científica, com dificuldade, alcançou até aí – uma adesão profunda a uma maneira particular de ver o mundo e praticar ciência” (Kuhn, 1979, p. 55). A iniciação científica do aluno em moldes rígidos e não discutíveis, seria necessária, segundo Kuhn, uma vez que é ela que garante ao aluno um foco de estudos que define o sucesso da ciência moderna em um nível nunca antes atingido, quando este tipo de educação não existia (Kuhn, 1970). Nesta linha de raciocínio, uma educação científica que trouxesse ao aluno discussões críticas da Natureza da Ciência poderia solapar suas convicções, desestimulando-o em sua formação. Embora a preocupação pareça legítima, “não há evidências de que tais abordagens diminuam o entendimento científico; elas podem abalar uma certa convicção pseudo-científica, o que não é de todo mal” (Matthews, 1995).

Uma visão inadequada da atividade científica que é frequentemente propalada por professores se refere às pseudo-histórias, o que, a princípio, constitui-se em mais uma crítica em relação às formas contextuais de ensino de ciências. A pseudo-história, como a pseudociência, usa fatos de forma seletiva, ocultando (por desconhecimento ou por má-intenção deliberada) outros que melhor o contextualizam, podendo formar uma imagem de ciência anedótica, que não encontra embasamento em uma análise pormenorizada da atividade científica.

Os cientistas idealizados de mitos romanceados provê modelos não realistas para o que os cidadãos podem esperar dos cientistas em nossa sociedade. Eles distorcem a natureza do conhecimento científico ocultando seus limites e simplificando em demasia a natureza da evidência e interpretação (Allchin, 2004, p. 192).

Como Allchin alerta (2004, p. 192), como poderemos esperar que estudantes se posicionem criticamente em relação a assuntos científicos se tudo o que eles possuírem forem uma imagem romanceada e irreal da atividade científica? Deste modo, o próprio Allchin estabelece críticas às reconstruções históricas realizadas em qualquer tentativa didática, uma vez que essas invariavelmente incorrerão em modos epistemologicamente partidários de contar uma história. Contudo, há de se começar sempre por algum lugar, e ao se transformar obstáculos contornáveis em intransponíveis não se irá contribuir para gerenciar os desafios que a educação científica enfrenta. Como Silva e Laburú sugerem,

não é questionável aceitar que uma investigação histórica seja legitimada somente quando se basear no caráter completo dos dados? Obviamente que é ilusão pensar em tal “completude”, já que ela é absolutamente inalcançável. Tendo considerado que o passado constitui uma fonte inesgotável de informação e que ao historiador cabe, ainda que de forma particular, organizar e selecionar a informação para criar um fio condutor pelo qual os meros fatos poderão adquirir um sentido, não é surpreendente, pelo menos em ensino de ciências, arrefecer essa preocupação (2010, p. 79).

Quando se pretende ensinar física, e não especificamente história da ciência, sempre precisaremos reconstruir a história de modo a ser uma ferramenta para se compreender também os processos de construção de conhecimento científico. E se, pelas limitações de tempo e outros fatores, não podemos analisar profundamente a história tratada, então se precisa coragem, talvez, para fazer o que é possível. Ou seja, “se a exaustividade em considerar os fatos do passado consiste realmente num requisito fundamental para se ter uma “boa história”, a “má história” é o que

sempre restará para o ensino. Mas, então, quais histórias sobriam como aceitáveis em educação científica?” (Ibid.).

Naturalmente, ao professor interessado nessas questões é necessária uma parcimônia em relação às suas necessidades e capacidades, de modo a não incorrer em pseudo-histórias, mas também saber que sempre haverá um grau de inexatidão e viés epistemológico em suas narrativas. Por isso compactuamos com a sugestão de que os

professores tenham conhecimento filosófico para que, conscientemente, a partir da história 1 (que se baseia em reais eventos históricos), exponha uma reconstrução histórica constituída de uma história 2 (que engloba as proposições históricas) carregada pela postura filosófica propositadamente aplicada ao ensino (Silva e Laburú, 2010, p. 80).

As reconstruções históricas realizadas com um objetivo didático permitem, deste modo, que se encontre um equilíbrio entre uma análise exaustiva de elementos históricos não relevantes ao aluno, e uma história descompromissada pernicioso à sua formação. Não queremos formar historiadores e sociólogos da ciência, mas acreditamos que a preocupação com os processos de construção de conhecimento científico é a forma mais imediata de promover um ensino *sobre* ciência, além de seus meros resultados.

Alguns autores são consensuais em relação à necessidade de se superar uma visão essencialmente empirista da ciência (Moreira e Ostermann, 1993, Silveira e Ostermann, 2002, Silveira e Peduzzi, 2006, Praia et al, 2007), o que sugere um ponto de partida para se estruturar atividades que visem uma caracterização da atividade científica mais consoante com as pesquisas atuais. Ainda, em geral o interesse com as investigações em ensino de ciências focadas na história e filosofia da ciência costumam se basear em duas hipóteses: a) o entendimento da Natureza da Ciência pelo professor influencia a imagem que os alunos constituem a respeito dela, e b) as crenças do professor sobre a Natureza da Ciência influencia significativamente nas suas decisões didáticas em sala (Acevedo et al., 2005, p. 3). “Contudo, por muito atrativas que possam parecer ambas as hipóteses, o certo é que ainda não estão suficientemente validadas pelas investigações realizadas” (Ibid.).

Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007), trazem algumas respostas aos apontamentos de Acevedo, e apontam que o estudante deve ser inclusive imerso em uma cultura científica, ultrapassando uma condição de simples

ponto de vista em relação à Natureza da Ciência (2007, p. 146). É nossa intenção contribuir com este debate, já apontando que adotamos também como hipótese de pesquisa as sugestões de Praia e Gil-Pérez (assim como de outros autores aqui citados), de que devemos proceder de modo a formar uma imagem

da metodologia científica – longe de qualquer ideia de algoritmo com que freqüentemente se apresenta – na qual nada garante que se chegará a um bom resultado, mas que representa, sem dúvida, a melhor forma de orientar o tratamento de um problema científico (como atestam os impressionantes edifícios teóricos construídos) (Praia, Gil-Pérez e Vilches, 2007, p. 149).

Em 2003, segundo Moreira (2003, p. 6), o conhecimento produzido sobre métodos, técnicas e estratégias de ensino em ciências encabeçava as pesquisas em ensino de ciências. Não obstante, pesquisas com a formação de professores de ciências estavam em uma posição bem inferior, ficando apenas à frente das pesquisas sobre o contexto da educação em ciências, novas tecnologias e avaliação. Em um levantamento mais completo e mais recente, Cachapuz et al., 2008, aponta a filosofia da ciência como uma das maiores frequências entre as linhas de pesquisa em educação em ciência. Mas parece não haver muitos subsídios para o professor já em atuação e, infelizmente, parece que esta preocupação é majoritariamente acadêmica, havendo pouco reflexo na educação básica.

Fazendo alusão ao “professor-pesquisador”, Moreira comenta sobre um “professor-consumidor”, que efetivamente usaria o que aquele produziu. Este professor seria:

Um indivíduo que pelo menos soubesse, e tivesse o costume de, ler criticamente artigos sobre educação em ciências escritos a partir de resultados de pesquisa. Que soubesse discriminar entre o que vem da investigação e o que é especulativo, opinativo, intuitivo (Moreira, 2003, p. 11).

Apesar de vermos como imprescindível uma preocupação neste sentido com o professor em formação, defendemos que esta prática pode ser estendida para o professor já em atuação. Excetuando-se a idiosincrasia do professor, é lícito supor que sua formação tenha um

papel central na constituição de uma prática com maior consonância com os resultados das pesquisas em ensino.

Grupos de professores em formação podem ser mais bem instruídos, para se evitar que visões inadequadas da atividade científica sejam levadas adiante, bem como grupos de professores já em atuação. Isto pode se dar por meios diferentes. Por exemplo, pode-se realizar uma apresentação inicial clara e direta das visões epistemológicas contemporâneas (Moreira, Massoni e Ostermann, 2007), ou de um modo mais perscrutador, através de discussões baseadas em textos originais históricos e epistemológicos, para identificar as concepções iniciais dos alunos e para uma futura discussão epistemológica calcada nos preceitos contemporâneos (Teixeira, El-Hani e Freire Jr., 2001). De um modo ou de outro, é importante perceber cada vez mais a necessidade de se trazer ao professor em formação essas discussões epistemológicas, sem ignorar outras atividades que permitam ao professor em atuação também fazer parte nesse processo.

Uma das mais prementes necessidades de se trabalhar com a Natureza da Ciência junto aos professores, como citado anteriormente, é o fato de que sua visão a respeito da Natureza da Ciência influenciará, em maior ou menor grau, a visão que o aluno constituirá a respeito da atividade científica, conforme sugerem pesquisas realizadas nos EUA com esse fim (Lederman, 1992, Abd-El-Khalick e Lederman, 2000). Conforme aponta Lederman, “os fatores mais importantes que influenciam as visões dos estudantes sobre a Natureza da Ciência são aqueles relacionados às atividades instrucionais específicas implementadas no contexto de aula” (1992, p. 351). Disso resulta uma preocupação em relação à visão do professor em relação à atividade científica, sendo que um trabalho nacional realizado em 2010 (Chinelli et al.) indica situação semelhante em relação a professores de ciências. Esse trabalho mostrou que existem, convivendo nas escolas,

concepções epistemológicas distintas, muitas vezes assumidas por um mesmo professor. Esta situação conflitante produz práticas pedagógicas antagônicas, fragilizando o ensino de ciências em razão de incoerências que podem ser sentidas pelos estudantes (Chinelli et al., 2010, p. 31).

Em um trabalho pioneiro realizado na década de 80 sobre estereótipos sociais dominantes relativos à imagem de ciência, Gordon (citado em Porlán e Rivero, 1998) já tinha concluído que o currículo

oculto das escolas transmite uma imagem inadequada da ciência, tanto aos estudantes como aos professores. As características apontadas por esse autor, dessa imagem inadequada da ciência, são: a) a verdade científica existe fora de nossas mentes; b) na explicação do professor se tende a dar a sensação de que ao final sempre há uma conclusão objetiva e verdadeira; c) os cientistas, segundo o currículo escolar, são pessoas especialmente inteligentes e, em certa medida, superiores às demais; d) as questões que a ciência ainda não resolveu têm solução, o que ocorre é que os cientistas ainda não as abordou; e) a ciência é cumulativa e segura.

Em um trabalho abrangente realizado em 2002 (Fernández et al., 2002), também foi constatado que diversos artigos sobre o ensino de ciências (e conseqüentemente diversos professores, que produziram aqueles) apresentam uma imagem inadequada da atividade científica. Fernández usou sete categorias de visões inadequadas⁵ em relação à ciência (2002, p. 483):

- Visão empírico-indutivista, atórica;
- Visão rígida (algorítmica, exata, infalível);
- Visão aproblemática e ahistórica;
- Visão exclusivamente analítica;
- Visão cumulativa, de crescimento linear;
- Visão individualista e elitista;
- Visão socialmente descontextualizada.

Essas categorias não se mostram totalmente independentes, apoiando-se mutuamente em muitos casos (Ibid.). Disto, resulta que uma visão mais adequada da atividade científica reside em uma oposição a essas categorias, e que os alunos não irão adquirir essa visão se os próprios professores não a possuem. O resultado é o que os trabalhos a seguir demonstram, por exemplo.

Em um estudo exploratório realizado em uma escola pública, houve uma implementação de questionários versando sobre aspectos da Natureza da Ciência (Silva, 2010). O pesquisador implementou esses questionários com turmas ingressantes e turmas concluintes do Ensino Médio, com um total de 80 estudantes. Entre os resultados, temos

⁵ Os autores citados usam “deformadas”.

ratificada a noção academicamente já consensual de que os alunos possuem visões inadequadas a respeito da atividade científica, e “que as concepções de ciências tanto do aluno ingressante como concluinte [do Ensino Médio] pouco diferem entre si” (Ibid., p. 626). O que atesta a ineficiência das discussões realizadas ao longo do Ensino Médio, ao menos em relação aos modos de operar da ciência. Nesse sentido, a menos que se realizem esforços para se trabalhar adequadamente com tópicos acerca da Natureza da Ciência, é lícito supor que a imagem de ciência dos alunos continuará sendo aquela socialmente compartilhada, repleta de problemas. Como o autor do estudo comenta, a discrepância entre as visões de Natureza da Ciência tidas como adequadas pelos pesquisadores e as visões constituídas pelos estudantes “pode ser explicada pelo espaço enorme entre as discussões e as produções realizadas pelos pesquisadores da área e os professores de ciências do ensino fundamental e médio, que estão na outra ponta do iceberg” (Silva, 2010, p. 676). Esse “espaço enorme” a que o pesquisador se refere é onde se situa nossa pesquisa.

Um outro trabalho exploratório realizado com estudantes de Ensino Médio de uma escola técnica (Maruyama, Braga e Guerra, 2011), interessadamente em um curso de Física Experimental, teve um propósito semelhante ao trabalho anteriormente citado, mas com 165 alunos ingressantes no curso. Uma das constatações foi em relação à diferenciação entre “teoria” e “lei”, onde, para a maioria dos estudantes, essa estaria “baseada em algum tipo de comprovação. A experimentação seria o grande tribunal dessa diferenciação. [...] Esta diferença é determinada pela comprovação experimental” (Ibid., p. 6). Ou seja, temos a noção de senso comum de que “teoria” é algo que não foi comprovado e “lei” é algo que foi. Compartilhando de nossas recomendações, os autores comentam que:

A identificação antecipada das visões deformadas da ciência (GIL-PÉREZ et al., 2001) podem gerar uma estimativa futura das dificuldades de apreensão do conteúdo NdC que os alunos possam apresentar fornecendo ao docente subsídios para a criação de um cenário propício à melhoria do ambiente de ensino (Maruyama, Braga e Guerra, 2011, p. 6).

Como mencionamos, é lícito supor que essas visões não serão significativamente alteradas junto aos alunos se os próprios professores não tiverem uma visão mais sofisticada em relação aos elementos mais

consensuais a respeito da atividade científica. Contudo, possuir visões adequadas da Natureza da Ciência não resulta necessariamente em práticas mais efetivas para a promoção de uma melhor visão também por parte dos alunos (Lederman, 2002, p. 351). É claro que é preciso sistematizar maneiras de se permitir que o aluno construa essa visão mais adequada, como os exemplos que citamos logo a seguir, particularmente implementados no Ensino Médio, nosso contexto de pesquisa.

A partir de uma parceria entre professores da escola pública e um grupo de especialistas em ensino de física, houve a estruturação de um curso de termodinâmica para o Ensino Médio que incluía textos históricos par a discussão sobre o desenvolvimento da ciência (Nascimento e Carvalho, 2007). Essa discussão junto aos alunos foi feita para que eles “pudessem compreender aspectos importantes sobre o conhecimento científico e, dessa maneira, construíssem uma visão mais realista sobre a natureza desse conhecimento” (Ibid., p. 3). O curso incluía experiências de demonstrações investigativas, vídeos e *softwares*, e questões para discussões em grupo, com aulas filmadas. Os pesquisadores obtiveram “evidências de que o uso de textos históricos valoriza o ensino e a aprendizagem de aspectos [caracterizados] como componentes básicos da alfabetização científica” (Nascimento e Carvalho, 2007, p. 11).

Como proposta de trabalho com a Natureza da Ciência no Ensino Médio, Köhnlein e Peduzzi (2005) estruturaram e implementaram um módulo didático sobre a Teoria da Relatividade Restrita, com uma abordagem histórico-filosófica. Esse trabalho evidenciou que uma abordagem histórico-filosófica chama atenção do aluno, e que ao término do módulo houve uma modificação considerável em relação à superação de uma visão empírica-indutivista, constatada inicialmente. É oportuno citar que os próprios livros didáticos costumam não ajudar nesse sentido, ou seja, no geral eles também trazem uma visão de ciência que se aproxima mais do empirismo e do indutivismo (Köhnlein e Peduzzi, 2005, p. 63). Ao usar Kuhn como referencial epistemológico, os autores sugerem que “a interpretação histórico-filosófica [...], utilizada no módulo didático, não é a única. O [trabalho desenvolvido] abre perspectivas para os que desejam elaborar novas estratégias para abordar esse tópico à luz das concepções de outros filósofos contemporâneos” (Ibid., p. 64). Naturalmente compartilhamos da visão de que diferentes referenciais podem ser utilizados em propostas compromissadas com uma visão adequada da atividade científica.

Em um trabalho de 2010, a partir de uma unidade de ensino com a ótica, onde houve uma preocupação com a história e filosofia da ciência,

Silva e Martins chamaram atenção de que não existem metodologias infalíveis, e que ao fim de uma intervenção didática é possível que algumas concepções iniciais sejam retomadas pelos alunos. Mas no geral se percebeu que as atividades realizadas “permitiram uma reflexão e um melhor entendimento de questões relativas ao desenvolvimento da ciência” (Silva e Martins, 2010, p. 90), e que “os alunos se tornaram mais participativos, principalmente os que se mostravam mais avessos às ciências” (Ibid.).

Apesar de não se tratar de um trabalho com vista ao Ensino Médio, citamos aqui uma ousada tentativa de se comentar sobre a natureza do conhecimento científico nos anos iniciais do Ensino Fundamental. Longhini e Mora (2009) desenvolveram um estudo exploratório que consistia em trazer fotos de partes de objetos para as crianças, seguido de questionamentos a respeito do que era visto. Apesar de se distanciar (mas não muito!) dos intentos de nossa pesquisa, essa atividade traz a interessante sugestão de trazer elementos sobre a investigação científica junto a crianças, ao tratar a imaginação (hipóteses!) como ferramenta para se descobrir mais sobre algo. Consideramos relevante o esclarecimento seguinte:

Logicamente, seria ingênuo acreditar que [a criança] pode elucidar os diversos meandros do processo de produção do conhecimento científico, que vão muito além de um ensaio como o que propomos. [...] O que pretendemos é oferecer alguns subsídios para início de um processo que não se esgota nos primeiros anos da escolarização, mas que deveria perpassar todas as etapas da Educação Básica (Longhini e Mora, 2009, p. 6)

Em um trabalho minucioso realizado por Forato (2009), um conjunto de estratégias para se ensinar a Natureza da Ciência no Ensino Médio foi implementado em uma unidade de ensino sobre a história da luz. Nesse trabalho ficou evidente que “explorar a utilização da história da ciência no ensino médio mostrou-se um recurso pedagógico favorável e instigador para ensinar sobre a Natureza da Ciência” (Forato, 2009, p. 183). Apesar das recomendações historiográficas em relação ao tratamento da história da ciência de modo a evitar as distorções já comentadas, por exemplo, Forato ratifica que “não é possível tratar um recorte histórico e discuti-lo em seus detalhes como recomendável em trabalhos especializados” (Ibid., p. 191). No final, sempre precisaremos

de um discernimento adequado para escolher e gerenciar os caminhos didáticos escolhidos, cientes das consequências inevitáveis de nossas escolhas, positivas e negativas (faremos uma discussão mais pormenorizada nesse sentido na seção 5.1, sobre a caracterização da produção do material didático utilizado em nossa unidade de ensino proposta). Mas parece claro que:

[...] a necessidade de um ensino explícito da NdC no currículo de ciências suscita um acordo cada vez mais amplo, tanto entre os pesquisadores de didática da ciência quanto nos modelos dos currículos renovados da educação científica (Vásquez-Alonso et. al., 2008, p. 34).

Diante desse acordo crescente, ao nosso ver é urgente que cada vez mais iniciativas votadas à educação básica sejam engendradas, para que a falta de propostas didáticas compromissadas com uma imagem mais adequada da atividade científica se torne um problema a menos entre tantos ainda a resolver.

2. A Natureza da Ciência e a Gravação

A Natureza da Ciência pode assumir diferentes concepções por diferentes pensadores. De modo geral, consideramos que o que chamamos de Natureza da Ciência são os modos de proceder da atividade científica: suas características, seus sistemas de valores, seus critérios de desenvolvimento, suas metodologias. Embora não exista um consenso a respeito de uma Natureza da Ciência universal, ou seja, não dispomos de um conjunto de procedimentos onipresentes, relativos a toda a atividade científica, existem tentativas bem sistematizadas de caracterização que ilustram adequadamente os processos de obtenção de conhecimento científico, devidamente fundamentadas em análises da história do desenvolvimento da ciência.

Existem diferentes formas de se abordar a atividade científica, sendo que cada qual tem seus determinados pontos de ênfase. Algumas tentativas de entendimento da ciência são mais deslocadas para os aspectos sociais, da circulação de informações científicas, e outros mais deslocados para aspectos de reconstrução racional, no sentido de valorar elementos da atividade científica e analisar as características e critérios de escolha baseados nesses valores. Dentre essas tentativas, fundamentaremos nossas discussões essencialmente na epistemologia de Lakatos, que julgamos representar de modo bastante didático alguns aspectos da atividade científica. Também discorreremos sobre alguns elementos da epistemologia de Popper, por considerarmos que seus apontamentos formam, juntamente com os de Lakatos, um corpo de conhecimento bastante sólido em relação a uma adequada caracterização racional da atividade científica. Traremos ainda alguns contrapontos a essa (suposta?) racionalidade, com algumas ideias de Paul Feyerabend.

2.1 A Epistemologia de Lakatos

Imre Lakatos (1922-1974) foi um dos mais influentes filósofos da ciência do século XX. Com formação também em física e matemática, campos que analisou filosoficamente, Lakatos foi (é) um importante nome associado aos debates referentes à Natureza da Ciência, particularmente com Thomas Kuhn e Paul Feyerabend, ambos grandes filósofos da ciência com sólida formação científica. Influenciado por Karl Popper, Lakatos é considerado um racionalista, que não admite uma ciência baseada na conversão religiosa, mas sim no progresso racional,

onde elementos objetivos de decisão são usados a favor da escolha entre diferentes explicações (Silveira, 1996).

Parafraseando Kant, Lakatos sugere que “filosofia da ciência sem história da ciência é vazia; história da ciência sem filosofia da ciência é cega” (Lakatos, 1978, p. 102). Para Lakatos, a história e a filosofia da ciência devem aprender uma com a outra. Quando a história da ciência é construída, ou reconstruída, como prefere Lakatos, o observador desta mantém, consciente ou inconscientemente, um olhar epistemológico que guia a união de fatos históricos de modo a formar um todo coerente, ou seja, “a história não se apresenta simplesmente aos olhos do espectador; ela tem que ser fabricada” (Matthews 1995, p. 174). Se não fosse assim, haveria apenas um amontoado de farrapos remendados que, certamente, seria muito pobre de um ponto de vista heurístico. Pode-se dizer que “a filosofia da ciência fornece metodologias normativas em termos de qual reconstrução histórica [...] provê uma explanação racional do crescimento do conhecimento objetivo” (Lakatos, 1978, p. 102).

Para explicar racionalmente como se desenvolve as teorias científicas, Lakatos desenvolve uma caracterização do que passou a ser chamado de programa de pesquisa, conforme veremos na sequência.

Embora o termo teoria científica seja largamente empregado para designar o que se entende por um conjunto de leis e enunciados que definem o conhecimento científico, na prática, o que temos, segundo Lakatos, são séries de teorias que podemos associar a um *programa de pesquisa*. De fato, as mais importantes teorias científicas de que dispomos

são caracterizadas por uma certa continuidade que conecta seus membros. Esta continuidade se desenvolve a partir de um genuíno programa de pesquisa esboçado desde o início. O programa consiste de regras metodológicas: algumas nos dizem quais caminhos de pesquisa evitar (heurística negativa), e outras quais caminhos prosseguir (heurística positiva) (Lakatos, 1978, p. 47).

As heurísticas negativa e positiva, como veremos na sequência, são instrumentos que atuam diretamente na preservação e gerência dos conceitos mais caros ao programa, ou seja, seus fundamentos que norteiam a pesquisa.

Em um primeiro exemplo, utilizado por Lakatos, podemos nos referir à física quântica. Esta se constitui em um emaranhado de teorias

que foram, ao longo da primeira metade do século XX, sendo sistematizadas até se chegar no que conhecemos por mecânica quântica. Antes de ocorrer esta sistematização, diferentes frentes de trabalho e diferentes elementos explicativos foram surgindo e se suportando mutuamente. Entre estes, é digno de nota os primórdios da quantização a partir dos estudos sobre o corpo negro, de Planck, e seu desenvolvimento posterior por Einstein, o estabelecimento da moderna teoria atômica, com Rutherford, Bohr e Sommerfeld, e o conceito de dualidade onda-partícula, primeiramente com os estudos de Einstein e posteriormente generalizado por Louis de Broglie. Para sistematizar os conhecimentos até então obtidos, tivemos as teorias desenvolvidas por Dirac, Heisenberg e Schrödinger, que só um pouco mais tarde foram dadas como equivalentes (Segrè, 1987). Surgia, assim, a mecânica quântica. Ou seja, esta “teoria” fica melhor caracterizada como uma série de teorias, formando assim um programa de pesquisa. Neste caso, especificamente, talvez o mais intrincado programa desenvolvido até hoje. Ainda, segundo Lakatos (1979, p. 162), “a própria ciência como um todo pode ser considerada um imenso programa de pesquisa com a suprema regra heurística de Popper: “arquitetar conjecturas que tenham maior conteúdo empírico do que as predecessoras”.

Assim, na terminologia de Lakatos, podemos nos referir ao programa newtoniano ou ao programa einsteiniano em relação à Gravitação Universal (Teoria da Gravitação Universal, no primeiro caso, e Teoria Relatividade Geral, no segundo). De um modo geral, podemos dizer que um programa de pesquisa pode ser caracterizado por um núcleo firme, um cinturão protetor, e heurísticas associadas à manutenção destes.

Um programa de pesquisa possui um conhecimento de base, um núcleo firme que é preservado ao máximo no sentido de tê-lo como o mais caro conceito que sustenta o programa. No caso da física quântica, por exemplo, o próprio conceito de quantização (que batiza a teoria), ou seja, de que grandezas físicas como a energia assumem apenas valores discretos, pode ser considerado como núcleo firme do programa. A mecânica quântica tem este conceito como cerne que originará suas outras questões. Acabar com a noção de quantização colapsaria o programa, e por isso os cientistas que trabalham com este último, ao se depararem com dificuldades explicativas produzidas com ele, irão se lançar em novas conjecturas e hipóteses para evitar um ataque direto ao núcleo do programa.

Similarmente, podemos nos referir à lei da Gravitação Universal e às três leis de Newton como núcleo firme de toda a mecânica newtoniana,

como veremos na sequência, e aos postulados referentes à constância da velocidade da luz e do princípio da equivalência das leis físicas como núcleo firme da relatividade einsteiniana.

Naturalmente, ao longo do desenvolvimento de um programa de pesquisa surgem anomalias, inadequações entre a previsão teórica e a constatação empírica, que colocam em cheque o núcleo do programa. Mas este será protegido de um ataque direto através de hipóteses auxiliares que procurarão compatibilizar o programa com as anomalias constatadas. Inicialmente, essas hipóteses são ad-hoc, ou seja, são tentativas de se proteger a teoria com um recurso de ajuste, que pode ou não ser posteriormente confirmado como procedente. Estas hipóteses auxiliares formam então um cinturão protetor, um conjunto de estratégias de proteção ao núcleo firme.

Esse “núcleo” é “irrefutável” por decisão metodológica de seus protagonistas: as anomalias só devem conduzir a mudanças no “cinturão protetor” da hipótese auxiliar, “observacional” e das “condições iniciais” (Lakatos, 1979, pg. 163).

Para que o cinturão protetor exerça efetivamente esta proteção, ele não pode ser algo estático. Pelo contrário, ele é constantemente modificado, expandido e sofisticado conforme as necessidades. Um dos pontos chave da filosofia de Lakatos é justamente esta proteção, que sugere que um programa deve ser salvo de uma refutação prematura por meio de um ataque direto ao seu núcleo. A procura de explicações para as anomalias, preservando, deste modo, o núcleo firme, é um recurso fundamental que permite que o programa sobreviva pelo tempo necessário para mostrar seu valor heurístico, sua capacidade de explicar e prever novos eventos e hipóteses, o que Lakatos associa a uma “ciência madura”:

A ciência madura consiste em programas de pesquisa em que se antecipam não só fatos novos mas também, num sentido importante, novas teorias auxiliares; a ciência madura – à diferença do ensaio-e-erro corriqueiro – tem “força heurística” (Lakatos, 1979, p. 217).

Nossas melhores teorias possuem força heurística: elas possibilitam a explicação dos fenômenos que se pretende explicar dentro de uma dinâmica progressiva, ou seja, as anomalias e problemas são

naturalmente acomodados dentro de seu corpo de explicação, e novas relações são produzidas entre os conceitos estudados, de modo a não apenas aumentar o grau de coerência e coesão da explicação, mas também permitir a antecipação de novos fenômenos e relações entre esses. Segundo Lakatos, teorias maduras produzem *predições*.

Lakatos estava ciente de que só uma decisão metodológica por parte dos cientistas pode considerar uma teoria como refutada e, mesmo neste caso, nada garante que ela não possa se reerguer, ou seja, não só as teorias são provisórias, como suas refutações também podem o ser.

Um cientista precipitado pode afirmar que sua experiência derrotou um programa, e partes da comunidade científica podem até, precipitadamente, aceitar-lhe a afirmativa. Mas se um cientista do campo “derrotado” apresentar, alguns anos depois, uma explicação científica da pretensa “experiência crucial” no programa pretensamente derrotado, o título honorífico pode ser retirado e a “experiência crucial” pode converter-se, de uma derrota, numa nova vitória para o programa (Lakatos, 1979, p. 215).

Foi o que aconteceu, por exemplo, com experimentos no século XVIII que, à época, foram amplamente aceitos como evidência contra a lei da queda livre de Galileu e a teoria da Gravitação de Newton (Lakatos, 1979). Apesar das objeções, estas teorias mostraram-se vitoriosas na sequência. Também são notórias as tentativas de se refutar, no século XIX, a teoria corpuscular da luz, uma vez que os experimentos mostravam claramente seu caráter ondulatório. Lembrando, com Einstein o litígio foi resolvido (Segré, 1987).

Para Lakatos, só um novo programa de pesquisa poderá invalidar (por decisão metodológica) seu antecessor. Ou seja, não abandonamos um programa por sua degenerescência (incapacidade de acomodar novos fatos sem recursos a elementos ad-hoc) apenas, mas pela progressão de um outro programa.

Quando Newton resolveu um problema que estava incomodando importantes pensadores do século XVII, a saber, a determinação da trajetória orbital de um corpo que sofre uma ação que varia inversamente

com o quadrado da distância desse corpo ao centro atrator⁶, estava também estabelecendo o alcance de uma proposta ousada, difícil de aceitar à época.

Newton estava trabalhando com uma força que atuava a distância, conceito que rompia duplamente com a forma de pensamento de então. Primeiro, rompia com a noção de que ações entre corpos quaisquer só poderia se dar mediante a comunicação imediata entre esses, noção que vinha desde Aristóteles e tinha encontrado em Descartes sua mais alta sistematização (Silva, 2002, Peduzzi, 2015). “Os corpos só poderiam interagir mediante contato direto entre eles ou através de uma matéria sutil formada por corpúsculos que preenchiam todo o espaço” (Silva, 2002, p. 11).

Ainda, a Gravitação newtoniana rompia com a noção de separação conceitual entre a física terrestre e a mecânica celeste que, até então, dominava os círculos intelectuais impregnados por noções aristotélicas e religiosas que separavam claramente o que acontecia no mundo terrestre corruptível do que acontecia na região supraterrrestre, domínio do perfeito e incorruptível. A teoria newtoniana é

Uma teoria que coloca os corpos celestes e os corpos terrestres definitivamente no mesmo patamar ontológico, ou seja, corpos que possuem a mesma natureza, e cujos movimentos são regidos pelas mesmas leis. A mecânica newtoniana é simultaneamente uma mecânica terrestre e uma mecânica celeste (Silva, 2002, p. 9).

A noção de uma força gravitacional que atua e se estende infinitamente pelo universo promovia, deste modo, uma unificação terrestre-celeste que abria todo um novo conjunto de possibilidades para nossa forma de explicar o mundo. Por meio deste princípio,

Newton conseguiu explicar uma série de fenômenos, como a queda dos corpos na superfície da Terra, as marés, a precessão do eixo de rotação da Terra, a forma arredondada da Terra e dos outros planetas, a forma achatada da Terra nos polos, as pequenas variações nas órbitas dos planetas devido

⁶ Uma ideia que fora desenvolvida por Hooke, que influenciou Newton a chegar na noção de órbita por meio de uma força central (Teixeira, Peduzzi e Freire Jr., 2010, p. 225).

às atrações dos outros planetas, o movimento dos cometas, planetas e suas luas (Silva, 2002, p. 14).

Vemos aqui uma demonstração do poder do programa newtoniano, cujo núcleo firme pode ser associado à Gravitação e às leis da dinâmica, ao permitir uma série de explicações e mesmo previsões, como veremos na sequência. Em suma, sua força heurística colocou a mecânica newtoniana em uma posição central em toda nossa física de então, mostrando até onde podíamos chegar com nossa ciência.

Além das explicações possibilitadas pela mecânica newtoniana, como as citadas anteriormente, a teoria newtoniana da Gravitação nos deu um grande exemplo de sua progressão ao conseguir prever a existência de Netuno, apenas com base nas anomalias orbitais de Urano, ou seja, uma ligeira diferença entre os valores calculados e os efetivamente constatados para este planeta.

Adams e Leverrier, por volta de 1845, atribuíram tal discordância à existência de um planeta ainda não conhecido – o planeta Netuno – e, portanto, não levado em consideração na órbita de Urano. Essa hipótese permitiu também calcular a trajetória de Netuno, orientando os astrônomos para a realização de novas observações que, finalmente, confirmaram a existência do novo planeta (Silveira, 1996, p. 221).

A hipótese desses dois astrônomos, Adams e Le Verrier, não só proporcionou a manutenção do programa, como também permitiu que ele progredisse ao prever a existência de algo novo, posteriormente ratificado. Com o dado empírico corroborando a previsão teórica, vem também a constatação de que a hipótese auxiliar (a existência do suposto planeta) tornou o programa progressivo, ou seja, com uma maior capacidade explicativa e preditiva. Este recurso objetivando-se a preservação do núcleo firme é conhecido, na epistemologia de Lakatos, como heurística negativa. O esforço para se alterar e refinar o cinturão protetor é associado à heurística positiva, que permite identificar quais elementos estão sujeitos a refutações.

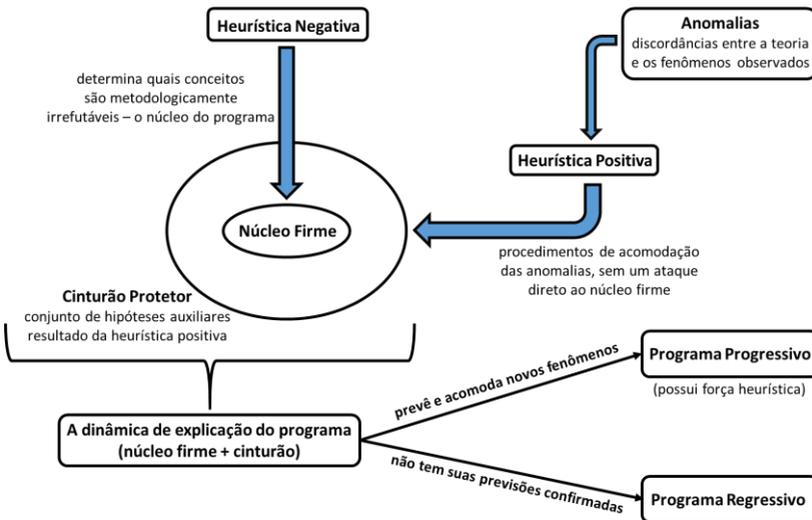
A heurística negativa especifica o “núcleo” do programa, que é “irrefutável” por decisão metodológica dos seus protagonistas; a heurística positiva consiste num conjunto parcialmente

articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e desenvolver as “variantes refutáveis” do programa de pesquisa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção “refutável” (Lakatos, 1979, p. 165).

Claro, um programa de pesquisa pode chegar em um ponto onde não consegue manter sua progressão, havendo, assim, sua degeneração ou regressão, ou seja, suas hipóteses auxiliares não resultam em predições empiricamente corroboradas. E mesmo a Gravitação newtoniana apresentando a seu tempo uma fantástica gama de explicações, não estava imune a um período de regressão, conforme veremos.

Em síntese, apresentamos um digrama simplificado com os principais elementos de um programa de pesquisa:

Diagrama 1 – Um diagrama para a Metodologia dos Programas de Pesquisa de Lakatos.



No séc. XIX foram constatadas anomalias sutis na órbita do planeta Mercúrio, mas suficientes para colocar o programa novamente em cheque. Da mesma forma que anteriormente, chegou-se a especular a existência de um planeta em suas vizinhanças, mas este planeta nunca foi encontrado. A anomalia só foi resolvida por um programa de maior sucesso explicativo, no caso a Teoria Geral da Relatividade, de Einstein.

2.2 Onde regressa Newton, progride Einstein

No final do séc. XIX a física estava praticamente concluída. Ao menos era o que pensavam alguns cientistas (Segré, 1987, Daniel, 2011). A termodinâmica, a mecânica estatística e a hidrodinâmica estavam consolidadas, o eletromagnetismo tinha encontrado sua síntese nas equações de Maxwell, e a mecânica newtoniana estava em uma posição de santidade (Barcellos, Valente e Zanetic, 2005). A desconfiança com qualquer teoria que ousasse contrariar alguns de seus pressupostos, do eletromagnetismo e da mecânica clássica, não abandonou nem mesmo alguns cientistas diretamente responsáveis por rachaduras irreparáveis na física de até então, como no caso de Lorentz e Planck.

Planck, considerado como o pai da física quântica, não estava disposto a abandonar as bases clássicas da física. Sua relutante solução para o problema da radiação de corpo negro, dos pacotes discretos de energia trocados entre as paredes do sistema e a radiação eletromagnética, sempre foi encarada por ele como um subterfúgio mais matemático que físico e, quando Einstein resolveu levar sua ideia, de Planck, a um patamar de lei geral para toda radiação eletromagnética, não gostou nenhum pouco. Planck chegou mesmo a justificar sua indicação de Einstein à Academia Prussiana de Ciências, dizendo que não se deveria cobrar muito dele “só porque nas suas especulações ele ocasionalmente possa ter deixado de acertar, como na sua hipótese dos quanta de luz” (Planck, citado em Ohanian, 2009, p. 183).

Einstein tinha menos ressalvas e, ao contrário de Planck, não teve maiores problemas em generalizar a quantização para toda a radiação eletromagnética, subsidiando um dos seus trabalhos de 1905, que mais tarde lhe renderia o Nobel. Mesmo admirando profundamente Newton e Maxwell, Einstein aparentemente aceitou de bom grado algumas concepções que poriam em cheque a mecânica de então, concepções estas que, embora já fossem pensadas por outros cientistas antes dele, tornaram-se mais bem aceitas apenas depois de suas contribuições. Mas entremos um pouco no terreno destas contribuições, com um olhar epistemológico.

Karl Popper nos chamou atenção para a efêmera condição da “verdade” científica, e sua falseabilidade como próprio critério de cientificidade. E justamente pensando nas fragilidades (no sentido de fazer predições, em princípio, facilmente testáveis) das teorias de

Einstein, mais propriamente na teoria da Relatividade Geral, cujas previsões podiam ser testadas e, ao contrário de outros sistemas de pensamento, podiam aparentemente refutar a teoria (Popper, 1993). Popper também investigou o problema da indução, associado à relação entre o conhecimento e a observação. David Hume tinha proposto que não há como garantir que uma situação se repetirá, como a queda de uma pedra e o nascer do Sol. Como então estamos tão certos de que ocorrerá?

Muitas pessoas acreditam, com efeito, que a verdade [de] enunciados universais é “conhecida através da experiência”; contudo, está claro que a descrição de uma experiência [...] só pode ser um enunciado singular e não um enunciado universal (Popper, 1993, p. 28).

Como então podemos estabelecer enunciados universais se tudo o que dispomos é de observações singulares (ainda que repetidas)? A esse chamado problema da indução de Hume, Popper sugeriu uma solução baseada na provisoriedade do conhecimento, ou seja, não sabemos exatamente que tal assertiva é verdadeira, apenas podemos assumir uma hipótese e ficar com ela enquanto gerar resultados. As provas experimentais positivas passam a confirmar a teoria, a hipótese, mas não são uma prova peremptória. Ou seja, pode-se corroborar as teorias, mas nunca efetivamente prová-las. Mas, opostamente, uma teoria pode ser refutada⁷, com uma experimentação que contrarie suas previsões.

Não exigirei que um sistema científico seja suscetível de ser dado como válido, de uma vez por todas, em sentido positivo; exigirei, porém, que sua forma lógica seja tal que se torne possível validá-lo através de recurso a provas empíricas, em sentido negativo: deve ser possível refutar, pela experiência, um sistema científico empírico (Popper, 1993, p. 42).

Quando Einstein terminou sua graduação no Instituto Politécnico de Zurique em 1900 (ano em que Planck fez sua sugestão revolucionária

⁷ Com o cuidado de não se atribuir essa refutação, ou uma corroboração, a um simples resultado, a uma simples experimentação. O processo de refutação ou corroboração passa por um estágio indefinidamente longo de decisão por parte da comunidade científica.

da quantização), não conseguiu rapidamente um cargo acadêmico, como queria, e não publicou nada significativo nos anos seguintes. Teve que aceitar um emprego burocrático em um escritório de patentes e, como ele mesmo mais tarde comentaria, foi o melhor que lhe podia acontecer (Isaacson, 2007). Ali, revisando pedidos de registro, teve tempo suficiente para pensar nos problemas físicos que lhe interessava e, em 1905, estes pensamentos resultaram em quatro artigos que mudariam sua vida em poucos anos.

Um desses artigos versava sobre a “eletrodinâmica dos corpos em movimento”, que em seguida seria batizada como Relatividade Restrita. Esta teoria postulava que a velocidade da luz era constante independentemente do referencial, e que as leis da física eram as mesmas para todos os referenciais inerciais. Percebendo rapidamente a restrição desta teoria (por isso Relatividade Restrita), uma vez que só se aplicava para sistemas que se movem relativamente a velocidades constantes, Einstein passou os dez anos seguintes em busca de uma generalização que permitisse estudar também sistemas acelerados. Temos assim a Relatividade Geral, que, uma vez finalizada em 1915, iria produzir pela primeira vez na história um cientista “pop-star” (Isaacson, 2007). Entre outros, esta teoria lidava com um espaço geométrico, que se deforma com a presença de massa. Esta deformação está diretamente associada ao que conhecemos como gravidade, e por isso a Relatividade Geral é a teoria einsteiniana da Gravitação.

Para Popper, as teorias devem ser corroboradas e resistir à refutação (Popper, 1993). Como refutar a relatividade? Einstein tinha calculado que a gravidade, resultado da curvatura do espaço, poderia curvar a trajetória de um raio de luz, como o de uma estrela distante que passa nas proximidades de um corpo massivo, como o Sol (e que, portanto, só poderia ser visto durante um eclipse total, para não ofuscar a luz desta estrela distante). Mesmo sendo um desvio muito pequeno, para este caso da gravidade do Sol, já em 1914 houve tentativas para medi-lo, que não foram bem sucedidas. Era a primeira guerra mundial, e Freundlich, um dos astrônomos que queria verificar o resultado de Einstein, teve sua missão frustrada ao ser confundido como espião (Isaacson, 2007). Cinco anos depois o mundo estava mais calmo, e o teste pode ser feito. Para ser corroborado, o valor previsto por Einstein deveria ser observado, enquanto um valor diferente traria sérios problemas para a teoria. No caso, o valor previsto foi efetivamente constatado e, quase que da noite para o dia, Einstein se tornaria um dos nomes mais pronunciados ao redor do mundo. Segundo a epistemologia de Popper, foi uma grande

corroboração da teoria, que passou a ser conhecida como uma nova teoria da Gravitação.

Mas em 1914, quando houve uma das primeiras tentativas para a medição da deflexão gravitacional da luz, havia um erro no valor calculado por Einstein, da ordem da metade do correto. Se a expedição de Freundlich lograsse êxito, o valor medido seria o dobro do previsto por Einstein, e a relatividade estaria aparentemente refutada. Estaria mesmo? Em que medida um resultado negativo refuta uma teoria? O cientista busca uma refutação de sua teoria?

Apesar de ser um guia heurístico para muitos cientistas, uma análise mais cuidadosa dos modos de operar destes parece que não encontra muito respaldo em um sistema essencialmente dependente da refutabilidade. Popper, naturalmente, estava ciente das dificuldades de se analisar o “contexto da descoberta”, e suas tentativas de elaborar uma heurística racional não devem ser vistas, de modo algum, como uma ingenuidade. Ele sabia que existem mais elementos a serem considerados. “Minha maneira de ver pode ser expressa na afirmativa de que toda descoberta encerra um “elemento irracional” ou “uma intuição criadora...” (Popper, 1993, pg. 32). Segundo ele, isto não impede o cientista de proceder de uma forma racional, uma vez que muito do que se faz em ciência é “lapidar” situações espúrias para entender seus significados e propriedades, e não seria diferente com as análises que se faz destes processos (Popper, 1993). Lapidar, nesse caso, significa racionalizar os procedimentos realizados pelo cientista, filtrando os fatores tidos como centrais para a descoberta científica, de um contexto abrangente e complexo de descoberta.

Pode-se ver, em Lakatos, um refinamento da falseabilidade de Popper, com a noção de heurísticas positivas e negativas que delimitam até onde se pode ir com um programa, e em face a um outro em franca competição. Deste modo, a característica progressiva ou regressiva de um programa pode ser usada na escolha racional entre teorias concorrentes, escolhendo-se o programa progressivo em detrimento do regressivo.

Embora talvez não evidente em um primeiro momento, esta competição entre programas vai de encontro à noção comum de que uma teoria é refutada através da experimentação. De fato, “uma das coisas mais importantes que se aprendem estudando os programas de pesquisa é que relativamente poucas experiências são de fato importantes” (Lakatos, 1979, p. 186). Mesmo Einstein parece ter percebido a limitada importância do experimento ao sugerir que “uma teoria deve ser testada

pela experiência, mas não é possível construir uma teoria partindo da experiência” (Einstein, citado em Simon, 2005, p. 143), ao se referir às suas equações do campo gravitacional. A experimentação é essencial para se avaliar o programa e verificar até que ponto ele se mantém progressivo, mas o que irá definir seu abandono será a existência de um outro programa com maior capacidade explicativa e preditiva. Ou seja, só um programa pode fazer com que outro seja abandonado.

Essa dinâmica retrata a ciência como sendo mais hipotética do que indutiva, ou seja, o conhecimento científico avança com hipóteses, e não através de um sistema que vai da observação à indução de leis e princípios. Esse ponto é importante frente à concepção comum de um cientista com jaleco e prancheta nas mãos observando e tomando notas, para então chegar às descobertas científicas a partir dos dados empíricos. No contexto Newtoniano, por exemplo, é muito difundida a ideia de que Newton chegou à gravidade ao repousar sob uma macieira, quando uma maçã lhe caiu sobre a cabeça. “Típico de relatos que fazem um mau uso da história da ciência junto ao ensino, esse fato vulgariza uma das mais impressionantes realizações do conhecimento científico” (Peduzzi, 2015, p. 117). Para Lakatos, a ciência funciona por meio da disputa entre teorias, e não por meio da disputa entre uma teoria e os fenômenos que se propõem explicar. Esses fenômenos entram como parte do juízo de valor para que se elenque uma teoria como preferível à outra, mas eles não determinam, per si, qual teoria é a correta. Determinam apenas qual teoria é metodologicamente melhor.

Em decorrência da (devidamente contextualizada) independência da teoria em relação aos dados empíricos, no sentido de que as hipóteses são testadas por meio da experiência mas não são produzidas por essas, temos também a impossibilidade de termos experimentos cruciais, aqueles que supostamente decidem (ou mesmo provam) por uma teoria. Se de fato alguns resultados experimentais podem ser usados como critério para se metodologicamente suplantar uma teoria degenerada, isso se dá de forma a posteriori, onde apenas em retrospectiva podemos situar o experimento como “decisivo”. Por exemplo, a eclipse só foi usada como prova decisiva a favor da Gravitação newtoniana uns cem anos depois da reivindicação por Newton (Lakatos, 1979, p. 195). Ainda, é frequentemente propalado que o experimento de Michelson e Morley decidiu pela inexistência do éter (que, até o século XIX, era tido como necessário para se explicar a propagação das ondas eletromagnéticas), que por sua vez determinou um dos postulados da relatividade restrita de Einstein. Mas só depois de vinte e cinco anos esse experimento foi

classificado como “crucial” (Lakatos, 1979). De modo geral, podemos dizer que “só um processo extremamente difícil e indefinidamente longo pode estabelecer um programa de pesquisa capaz de suplantar o seu rival” (Lakatos, 1979, p. 201). Em suma, não existem revoluções súbitas.

Ao generalizar sua teoria da relatividade, Einstein não tinha por objetivo resolver o problema com a órbita de Mercúrio, mas este episódio acabou se apresentando como uma grande oportunidade de inicialmente testar sua heurística, o que foi feito por Einstein, que ficou maravilhado com o poder de sua teoria. A Relatividade Geral forneceu o resultado correto para o desvio do periélio de Mercúrio, mas, segundo Lakatos, este teste apenas não seria o suficiente, uma vez que um programa progressivo precisa não apenas explicar o que o programa rival não explica (sem contar os que ele explica, naturalmente), como também produzir explicações para fatos ainda não conhecidos, resultado de sua força heurística. “Não se elaboram hipóteses científicas só para preencher lacunas entre os dados e a teoria, senão para predizer fatos novos” (Lakatos, 1979, pg. 214). A possibilidade então de medir a deflexão da luz seria uma grande oportunidade para isso.

O fracasso da expedição de 1914 foi um tiro de sorte para Einstein. Isto permitiu que ele descobrisse seu erro a tempo, em 1915, e então comunicasse o mesmo para as equipes de astrônomos interessados na questão. Em 1919, equipes mandadas para Sobral, no nordeste brasileiro, e para a ilha de Príncipe, na costa da África, tinham então em mãos o resultado correto⁸ para testar. A equipe no Brasil obteve resultados inicialmente incertos, mas, em Príncipe, Arthur Eddington obteve algumas poucas chapas visíveis das estrelas nas proximidades do Sol eclipsado (Isaacson, 2007). O resultado de Einstein estava lá, de acordo com as previsões da Relatividade Geral. O excesso de conteúdo corroborado fez da Relatividade Geral o coração do agora chamado modelo padrão da cosmologia, que continuou demonstrando sua força heurística nos anos seguintes (Arthury, 2010, Daniel, 2011).

Quais os elementos que fazem o cientista abandonar seu programa? Em um primeiro momento poderíamos pensar que estes elementos residem justamente nos critérios de Lakatos para a superação de um programa, mas muitos episódios da história da ciência mostram que o cientista pode manter-se firme em suas crenças, mesmo diante de resultados contrários à sua teoria, e que as escolhas que o cientista faz

⁸ O resultado da matemática correta, a ser testado, naturalmente.

transcendem elementos meramente (e supostamente) objetivos⁹, como já alertou Popper acima.

Lakatos também não ignorou esta condição, indicando inclusive que certa dose de dogmatismo pode ser inclusive necessária, para que o programa tenha tempo de mostrar sua força heurística (Lakatos, 1979). Por exemplo, em 1905, “os melhores dados experimentais disponíveis sobre o aumento da massa com a velocidade pareciam estar mais de acordo com [...] outros modelos teóricos do que com a previsão de Einstein” (Ohanian, 2009, p. 54). Já imaginou se Einstein se desse por vencido e abandonasse seus estudos com a equação que se tornaria a mais famosa do mundo? “A teimosia de Einstein recusava-se a acreditar nisso. [...] A sua teimosia compensou. Pouco tempo depois, experimentos [...] encaixaram-se bem nas fórmulas de Einstein” (Ibid., p. 55).

O núcleo firme lakatosiano provavelmente é a característica da ciência mais prontamente associável ao dogma, uma vez que seu *modus operandi* se reveste de uma natureza inquestionável, mas não deveríamos levar esta característica dogmática longe demais. O cientista, embora possa proceder de uma forma dogmática, o faz temporariamente, apenas enquanto sabe não ser preciso uma maior preocupação com as estruturas de base da sua teoria. Mesmo Thomas Kuhn, um dos responsáveis em caracterizar a ciência como um sistema de adesões mais ou menos subjetivas pelo cientista (1979), coloca que:

Embora a investigação susceptível de ter êxito requiera uma adesão profunda ao status quo, a inovação continua a ocupar uma posição central. Os cientistas são treinados para funcionar como solucionadores de puzzles dentro de regras estabelecidas, mas são também ensinados a considerar-se eles próprios como exploradores e inventores que não conhecem outras regras além das ditadas pela natureza (Kuhn, 1979, p. 78).

Os elementos objetivos de decisão, como os propalados por Popper e Lakatos, podem até sugerir um limite desejável para as ações do cientista, mas suas idiosincrasias, mesmo profissionais, constituem no máximo uma assíntota àquele limite. Será então produtora continuar procurando por um sistema epistemológico suficiente? E, em caso

⁹ O que está em um terreno psicológico que ultrapassa, portanto, o âmbito acadêmico.

negativo, devemos então renunciar a qualquer tentativa de sistematizar os modos de proceder do cientista? Voltaremos a esta questão.

Embora tenhamos feito uma breve caracterização das epistemologias de Popper e Lakatos para subsidiar os episódios aqui ilustrados, não temos dúvidas de que o mesmo poderia ser feito utilizando-se qualquer outro epistemólogo, até mesmo porque “tudo é prego quando se tem um martelo nas mãos”, e muitos concordarão em discordar, ao analisar uma mesma teoria. Assim, não é difícil perceber que, se diferentes epistemologias podem ser empregadas (mesmo com suas limitações), surgirá alguém para dizer então que qualquer uma funciona, e também que nenhuma funciona. Tudo vale, portanto.

2.3 Alguns contrapontos ao racionalismo de Popper e Lakatos

Paul Feyerabend foi bastante contundente ou, no mínimo, conveniente (ou inconveniente, para muitos) para nos alertar quanto às limitações de nossas tentativas de racionalizar a razão para além do possivelmente racionalizável.

A História, de modo geral, e a história das revoluções, em particular, é sempre de conteúdo mais rico, mais variada, mais multiforme, mais viva e sutil do que o melhor historiador e o melhor metodologista poderiam imaginar. A História está repleta de acidentes e conjunturas e curiosas justaposições de eventos e patenteia a nossos olhos a complexidade das mudanças humanas e o caráter imprevisível das consequências últimas de qualquer ato ou decisão do homem. Devemos realmente acreditar que as regras ingênuas e simplistas que os metodologistas adotam como guia são capazes de explicar esse ‘labirinto de interações’? (Feyerabend, 1977, p. 19).

Em seu livro *Contra o Método* (1977), Feyerabend (também doutor em Física e em Humanidades) analisou, entre outros, os métodos de Galileu para fazer valer sua nova mecânica, mostrando como os sacrossantos princípios da metodologia científica não eram assim tão sacrossantos, e muito menos científico do que gostaríamos (ou científico justamente por não o ser enumerável como um método infalível e,

portanto, mais cientificamente adequados, em um sentido para “científico” distinto ao que estamos acostumados).

Por exemplo, Galileu utilizou-se do telescópio, recém otimizado por ele, para sustentar suas então revolucionárias concepções copernicanas a respeito de nosso sistema solar. Mas nem mesmo Galileu sabia como o telescópio funcionava precisamente, e seus críticos tinham razão em não aceitar este instrumento como prova categórica. Qual a garantia de que as imagens borradas e pouco resolutas deste equipamento correspondessem a objetos reais? E ainda havia o problema de se ver algo que os cientistas¹⁰ nunca tinham visto.

Esses problemas [com o uso do telescópio] eram comparáveis aos de alguém que, sem ter jamais visto uma lente, usasse, pela primeira vez, um mau microscópio. Não sabendo o que esperar (afinal de contas, não encontramos, pelas ruas, pulgas do tamanho de homens), a pessoa é incapaz de distinguir entre as propriedades do objeto e as ‘ilusões’ criadas pelo instrumento (distorções, faixas coloridas, descoloração, etc.) e os objetos deixam de ter nexos (Feyerabend, 1977, p. 186).

Isto não é imediatamente óbvio quando se analisa o evento hoje, do ponto de vista privilegiado de quem conhece os princípios óticos por detrás do funcionamento de um telescópio, e sabe, pela história, e mesmo por experiência própria, que um telescópio amplia os objetos distantes. Devemos fazer um exercício para reconstruir os problemas associados ao contexto da época, para perceber que Galileu não seguiu um método científico bem definido, de regras explícitas e facilmente identificáveis, embora outros autores não pensem assim. Galileu se lançou a uma forte propaganda do heliocentrismo, usando seu telescópio como instrumento que atestava seus pontos de vista.

Seguindo nessa argumentação, agora no contexto einsteiniano, costumamos ouvir o nome de Einstein e imediatamente associá-lo a uma ciência revolucionária, um gênio que só acertou. Se de fato algumas de suas contribuições à ciência merecem este apanágio, devemos ter cuidado ao associa-las a uma metodologia bem definida. Por exemplo, espera-se

¹⁰ Lembramos que a denominação “cientista” é mais recente que Galileu ou mesmo Newton. Por sua época, eles eram mais conhecidos como *filósofos naturais*.

que um cientista lance hipóteses com base em sua teoria, que serão ou não posteriormente corroboradas, conforme descrito por Lakatos. Mas não se espera que ele estipule valores e constantes de tal modo a simplesmente salvar seus interesses. Em relação a um de seus postulados da Relatividade Restrita, a constância da velocidade da luz, Einstein disse:

Na realidade não é nem uma opinião nem uma hipótese sobre a natureza física da luz, mas uma estipulação que posso adotar de acordo com o meu próprio livre-arbítrio para chegar a uma definição de simultaneidade (Einstein, citado em Ohanian, 2009, p. 128).

Livre-arbítrio? Certamente sim. O que surpreende na colocação acima talvez não seja a ignomínia de Einstein, mas o quanto isto contraria uma racionalidade empedernida que a ciência (não) possui. Naturalmente Einstein tinha boas razões para “estipular” a constância da velocidade da luz a partir de incoerências causadas pelo tratamento maxwelliano de sistemas relativos. Mas isso seria, antes, uma hipótese. Por algum motivo ele não quis sugerir isso. “Einstein tinha o direito de apresentar uma hipótese sobre a velocidade da luz, mas não uma estipulação. A velocidade da luz é uma constante ou não, e só uma medida¹¹ pode definir o que ela é” (Ohanian, 2009, p. 129). Claro, agora sabemos que a estipulação de Einstein acabou se demonstrando correta, mas ele “estava certo pela razão errada” (Ohanian, 2009, p. 136).

Também se costuma associar Newton a uma pesquisa impecável, o ideal da ciência. Pode surpreender o fato de que mesmo ele se lançou a metodologias que podem ser vistas como “irracionais”, e isto no campo de sua física (excluindo-se, portanto, suas incursões pela alquimia e religião, que formam mais da metade de seus escritos, como visto, por exemplo, em Westfall, 1993). Por exemplo, Newton identificou corretamente que o som se tratava de uma oscilação mecânica do ar, cuja velocidade seria dependente da razão entre sua elasticidade e sua densidade.

No entanto, quando calculou o valor da velocidade a partir dessa razão, descobriu que era menor em cerca de 20 por cento, e, para corrigir essa discrepância entre teoria e observação, invocou

¹¹ A medida à luz da teoria, naturalmente.

dois fatores improvisados, os quais não passavam da mais pura invenção (Ohanian, 2009, p. 99).

O que faz lembrar da tentativa de Einstein de manter o universo estático, de acordo com suas convicções, acrescentando um termo totalmente ad-hoc em sua equação do campo. Ou seja, o cientista está sujeito a critérios de decisão que transcendem, por vezes em muito, qualquer heurística supostamente racional para o funcionamento da ciência.

Como explicar então o sucesso da ciência? Segundo Feyerabend,

os cientistas não resolvem os problemas por possuírem uma varinha de condão, [o método científico], mas porque estudaram o problema por longo tempo e conhecem bem a situação, [...] e porque os excessos de uma escola científica são quase sempre contrabalançados pelos excessos de alguma outra escola (1977, p. 457).

Ou seja, é claro que, no todo, a ciência acaba sendo positivamente auto-reguladora, uma vez que muitas ideias e argumentos concorrentes estarão em franca discussão. E não temos problemas em aceitar que os procedimentos de justificação, e até mesmo sinceramente usados como guia heurístico-metodológico, sejam suficientemente coerentes com um ideal de razão. Apenas devemos nos colocar em uma posição mais crítica em relação aos modos de produção de conhecimento científico.

As ideias sobreviveram e agora podemos dizer que estão em harmonia com a razão. Sobreviveram graças ao preconceito, à paixão, à presunção, aos erros, à pura teimosia; em suma, graças ao fato de todos os elementos que caracterizam o contexto da descoberta se haverem oposto aos ditames da razão e graças ao fato de se haver permitido que esses elementos irracionais atuassem. Em outras palavras: a teoria copernicana e outras concepções 'racionais' só existem hoje porque, em seu passado, a razão, em algumas ocasiões, foi posta em segundo plano. (A recíproca também é verdadeira: a feitiçaria e outras concepções 'irracionais' só deixaram de exercer influência porque, em seu passado, a razão, em algumas

ocasiões, foi posta em segundo plano.) (Idem, 1977, p. 239).

Desde que esclarecidamente gerenciadas, não há que temer que estas ideias venham a minar uma desejável “razão”. Como disse Feyereabend, em tempos anteriores elementos da bruxaria e misticismo eram tidos como a razão da época (o que alguns podem objetar, dizendo ser “falta de razão”), tanto que mesmo Newton se dedicou a elas (e portanto teríamos que admitir que Newton não agiu racionalmente e, como grande representante da ciência, o problema continuaria).

2.4 Epílogo

Utilizamos episódios relativos às pesquisas de Einstein com a Gravitação para ilustrar alguns elementos da Natureza da Ciência e a insuficiência de uma metodologia, ou de metodologias, para analisar a produção de conhecimento científico. Não temos dúvida de que seria possível fazer análises semelhantes com vários outros episódios da evolução da física, e utilizando outros epistemólogos.

A ciência é uma atividade essencialmente humana e, como tal, não pode se restringir a um conjunto de regras fixas, que impossibilitariam seu desenvolvimento. Ao mesmo tempo, deve-se cuidar, principalmente no âmbito escolar, para que uma iconoclastia em relação à ciência não se transforme em uma imagem inadequada às avessas, ou seja, em uma visão de que a ciência é um conjunto de apostas, uma mera tentativa e erro, um simples subjetivismo em relação ao que vemos ao nosso redor.

A ciência é, sim, uma busca objetiva do conhecimento, ao menos a mais objetiva possível, com resultados que atestam sua força, mas isso não significa que sigamos um método específico bem delimitado, uma receita infalível, para tal (Moreira e Ostermann, 1993, Silveira e Ostermann, 2002, Silveira e Peduzzi, 2006). Ao contrário do que possa parecer em um primeiro momento, estas não são colocações mutuamente excludentes. Os cientistas

cometem erros, mas, em vez de se atrapalhar com esses erros, eles dançam ao redor deles, e geralmente usam esses próprios erros como degraus e atalhos para alcançar a sua meta. O caminho errático, imprevisível, por que [...] seguem nas suas caminhadas desafia a lógica e em

geral parece totalmente incompreensível, e, ainda assim, no fim leva a um resultado perfeitamente sensível e lógico (Ohanian, 2009, p. 406).

Sempre há que se começar por algum lugar e, neste sentido, não é difícil acomodar a importância histórica até mesmo do empirismo empedernido. Sempre queremos chegar mais perto de uma suposta verdade e, a menos de uma ou outra exceção, os pensadores que se propõem a entender a atividade científica o fazem de forma séria e compromissada, o que deveria servir de alerta quando pretendemos (e devemos) julgá-los por qualquer impropriedade (por sua vez assim julgada por nós), por qualquer limitação em suas argumentações. Essas limitações sempre existirão. Cabe a nós permitirmos a progressão de nossas ideias, e produzirmos cada vez mais teorias o mais objetivas possível (seja em relação à natureza ou às próprias tentativas de entendê-la), ficando alerta quanto à possibilidade de cairmos no (frequente) erro de assumir um guia heurístico como verdade última. Algumas ideias de Feferabend podem ser particularmente revigorantes nesse sentido, mas no geral seria contraproducente negar uma racionalidade à ciência, uma vez que não se conhece forma de conhecimento mais auto-reguladora. Mesmo que essa racionalidade seja atribuída a posteriori, como pretende Lakatos, temos com a epistemologia deste último uma potente lanterna para trazer luz ao caos da compreensão humana.

Referências deste capítulo

ANTÓN BOIX, Ignacio J. **Pluralismo Epistemológico: Entre el sueño objetivista y la incommensurabilidad de paradigmas.** Utopía y Praxis Latinoamericana, n. 24, 2004.

ALMEIDA, A. V., FARIAS, C. R. O. **A Natureza da Ciência na formação de professores: reflexões a partir de um curso de licenciatura em ciências biológicas.** Investigações em Ensino de Ciências – V16(3), pp. 473-488, 2011.

CACHAPUZ, A.; PAIXÃO, F.; LOPES, J. B.; GUERRA, C. **Do Estado da Arte da Pesquisa em Educação em Ciências: Linhas de Pesquisa e o Caso “Ciência-Tecnologia-Sociedade”.** Alexandria, v.1, n.1, p. 27-49, mar.2008.

CHINELLI, M. V., FERREIRA, M. V. S., AGUIAR, L. E. V. **Epistemologia em sala de aula: a Natureza da Ciência e da atividade científica na prática profissional de professores de ciências.** *Ciência & Educação*, v. 16, n. 1, p. 17-35, 2010.

DANIEL, Gilmar Praxedes. **História da ciência em um curso de licenciatura em física: a Gravitação newtoniana e a Gravitação einsteiniana como exemplares** [tese] / Gilmar Praxedes Daniel; orientador, Luiz Orlando de Quadro Peduzzi. Florianópolis, SC, 2011.

FERNÁNDEZ, I.; GIL-PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. **Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza.** *Enseñanza de las Ciencias*, 2002, 20 (3), 477-488.

FEYERABEND, P. **Contra o método.** Rio de Janeiro: F. Alves, 1977.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. **Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula.** *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 28, n. 1: p. 27-59, abr. 2011.

ISAACSON, W. **Einstein – Sua vida, seu Universo.** São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

KUHN, T. S. **A função do dogma na investigação científica.** In: *A Crítica da Ciência.* Rio de Janeiro: Zahar, 1979.

LAKATOS, I. **O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica.** In: I. Lakatos; A Musgrave (Org.). *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento.* São Paulo: Cultrix, EDUSP, p. 109-243. 1979.

MATTHEWS, M. R. **História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação.** *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. **Sobre o ensino do método científico.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.10, n.2: p.108-117, ago.1993.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T.; OSTERMANN, F. **História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a Natureza da Ciência.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, p. 127-134, 2007.

OHANIAN, HANS C. **Os erros de Einstein.** São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

PAIS, A. **Sutil é o senhor - A ciência e a vida de Albert Einstein.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

PEDUZZI, Luiz. O. Q. **Da física e da cosmologia de Descartes à Gravitação newtoniana.** Curso de Evolução dos Conceitos da Física, Departamento de Física, UFSC, 2015. Disponível em: <<http://evolucaodosconceitos.wix.com/historia-da-ciencia>>. Acesso em: 26 de agosto de 2015.

POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica.** São Paulo: Cultrix, 1993.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. **O papel da Natureza da Ciência na educação para a cidadania.** Ciência & Educação, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

PRAIA, J. F.; CACHAPUZ, A. F. C.; GIL-PÉREZ, D. **Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência.** Ciência e Educação, v. 8, n. 1, p. 127-145, 2002.

SEGRÉ, E. **Dos raios X aos quarks: físicos modernos e suas descobertas.** Brasília: Ed. UnB, 1987.

SILVA, T. N.; SANTOS, B. R. G.; BATISTA, G. L. F. **Um breve estudo exploratório sobre HFC e o ensino de Física: Quantificação de artigos em eventos e periódicos nacionais.** XX Simpósio Nacional de Ensino de Física. São Paulo, SP, 2013. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0250-2.pdf>>. Acesso em: 8 de maio de 2014.

SILVA, Henrique César da. **Discursos escolares sobre Gravitação newtoniana: textos e imagens na física do ensino médio [tese] /**

Henrique César da Silva; orientador, Maria José Pereira Monteiro de Almeida. Campinas, SP, 2002.

SILVEIRA, F. Lang. da; OSTERMANN, F. **A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n. especial: p.7-27, jun. 2002.

SILVEIRA, F. Lang. da; PEDUZZI, L. O. Q.; **Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 1: p. 26-52, abr. 2006.

SILVEIRA, F. Lang. da. **A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 13, n. 3, p. 219-230, 1996.

TEIXEIRA, E. S.; EL-HANI, C. N.; FREIRE JR., O. **Concepções de estudantes de física sobre a Natureza da Ciência e sua transformação por uma abordagem contextual do ensino de ciências**. Revista da ABRAPEC, Vol.1, nº 3. 2001, p. 111.

TEIXEIRA, E. S., FREIRE Jr., O., EL-HANI, C. N. **A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da Natureza da Ciência de estudantes de física**. Ciência & Educação, v. 15, n. 3, p. 529-556, 2009.

TEIXEIRA, E. S.; PEDUZZI, Luiz O. Q.; FREIRE Jr., Olival. **Os caminhos de Newton para a Gravitação Universal: uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 27, n. 2: p. 215-254, ago. 2010.

VILLANI, Alberto. **Filosofia da ciência e ensino de ciência: uma analogia**. Ciência e educação, v. 7, n. 2, p. 169-181, 2001.

WESTFALL, R. S. **A vida de Isaac Newton**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1993.

ZYLBERSZTAJN, Arden. **Galileu – um cientista e várias versões**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, 5 (número especial), 36-48, jun. 1988.

3. Fundamentação conceitual

Os referenciais pedagógicos para as atividades didáticas desta pesquisa são essencialmente embasados em Shulman (1986, 1987), sobre os aspectos relativos aos saberes, formação e prática docente, e Gowin (1981), relativo à constituição do material didático e subsídios para sua implementação e avaliação. Para a análise e discussão dos resultados, usaremos alguns elementos da pesquisa qualitativa delineados por Flick (2009).

Contrariamente ao que se poderia esperar de uma formação docente de qualidade, pesquisas têm evidenciado que o professor costuma considerar que boa parte de seus conhecimentos relacionados à prática de sua profissão é construída por sua própria prática. “Os professores destacam bastante sua experiência na profissão como fonte primeira de sua competência, de seu “saber-ensinar” (Tardif e Raymond, 2000, p. 209). Ainda:

Os alunos passam através da formação inicial para o magistério sem modificar substancialmente suas crenças anteriores sobre o ensino. E, tão logo começam a trabalhar como professores, sobretudo no contexto de urgência e de adaptação intensa que vivem quando começam a ensinar, são essas mesmas crenças e maneiras de fazer que reativam para solucionar seus problemas profissionais (Tardif e Raymond, 2000, p. 217).

Diante dessas colocações, pode-se depreender que a formação inicial de professores está aquém de suas reais necessidades, e esforços devem ser produzidos nessa questão (como de fato estão, com o constante debate a respeito da formação docente), mas sem desprezar os professores em atuação, uma vez que dessa atuação vem parte importante da construção da competência do professor. Enquanto frentes de trabalho pretendem atacar os problemas com a formação docente, a pesquisa por nós proposta tem um interesse mais deslocado em relação ao professor em atuação (o que, em última instância, pode também servir ao propósito de subsidiar os esforços com aquela formação), particularmente em relação à implementação de materiais didáticos com os objetivos já citados. Para isso, naturalmente uma atenção inicial deve ser dada em relação à própria constituição desse material, o que é possibilitado por algumas ideias educacionais delineadas por Gowin.

Os referenciais epistemológicos, para os fins que se deseja, foram constituídos por elementos das epistemologias de Popper (1993), Lakatos (1979) e Feyerabend (1977), apresentados no capítulo 2, também texto de suporte ao professor. Estes autores e suas teorias encerram boas potencialidades para se compreender a Natureza da Ciência, em atividades adequadamente ilustradas por episódios de sua história, mas após as reorientações da pesquisa, com sua implementação piloto (seção 5.2), fizemos uma escolha centrada na epistemologia de Lakatos. Entendemos que esse autor possibilita uma reorientação bastante interessante e didática em relação ao entendimento da atividade científica.

Embora nosso objetivo de tratar a Natureza da Ciência no Ensino Médio possibilite trabalhar com um rol de conteúdos da física tão extenso quanto se queira, propomos uma ênfase à Gravitação, chegando até o contexto da Física Moderna, devidamente transposta ao nível escolar desejado. Além das importantes justificativas de inserção da física moderna nas escolas (Terrazzan, 1992, Ostermann & Moreira, 2000), os crescentes desafios para os pensadores, dos antigos gregos à Einstein, ilustram em boa medida as particularidades da pesquisa científica, oportunizando sua análise com as visão epistemológica citada.

Em relação aos objetivos apontados nesta pesquisa, um primeiro resultado desejado é o rompimento definitivo com um empirismo ingênuo (Moreira, Massoni e Ostermann, 2007, Silveira e Peduzzi, 2006, Silveira e Ostermann, 2002, Gil Pérez et. al., 2001), ainda tão comum mesmo nos meios acadêmicos (Fernández et al., 2002). É importante trabalharmos melhor este aspecto tanto com professores em formação, assim como com professores já em atuação e, conseqüentemente, seus alunos.

Um desafio maior certamente é se aproximar, tanto quanto possível, de uma imagem mais adequada da ciência, devido às caracterizações diversas para a atividade científica.

Quando se passa dos conteúdos especificamente técnicos, onde a concordância é maior, aos mais conceituais, ou aos de estratégia, vê-se que a física parece cada vez mais um labirinto de filosofias, de linhas divergentes, de dificuldades e de contrastes. É preciso desenvolver uma compreensão da física à altura dos tempos e uma crítica englobante do labirinto em que fomos apanhados (Selleri, 1990, p. 28).

Naturalmente, a postura almejada, longe de ser a resignação e rendição a esse “labirinto de filosofias”, é o de desafio, ou seja, apesar das dificuldades de se tratar temas heterodoxos em relação à atividade científica, propomos que é possível engendrar estratégias de ensino que permitam enriquecer a percepção do aluno sobre essa atividade. E, certamente, esse desafio exige uma adequada avaliação das possibilidades de se efetivamente trazer esse tema para a prática do professor, atentando para as características do cotidiano em sala de aula, obtendo-se conhecimentos importantes para a formulação de futuras atividades didáticas e mesmo no aporte a reorientações na formação de novos professores.

3.1 A Natureza da Ciência: concepções adotadas

A Natureza da Ciência, citada em nossa discussão sobre a história e filosofia da ciência no ensino de física, pode assumir diferentes concepções por diferentes autores (Lederman, 2007). Consideramos que o que chamamos de Natureza da Ciência é simplesmente seus modos de proceder, indicados pelo conjunto de conhecimentos obtidos por pensadores epistemólogos e outros a respeito da atividade científica. “A Natureza da Ciência refere-se tipicamente à epistemologia da ciência, ciência como uma forma de conhecer, ou aos valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento” (Lederman, 2007, p. 833). De modo geral:

A Natureza da Ciência é entendida como um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico. Isto pode abranger desde questões internas, tais como método científico e relação entre experimento e teoria, até outras externas, como a influência de elementos sociais, culturais, religiosos e políticos na aceitação ou rejeição de ideias científicas (Moura, 2014, p. 32).

Como já mencionamos, existem diferentes tipologias para o *modus operandi* da ciência, e, para qualquer tentativa de explicação ou caracterização da atividade científica, haverá críticas ou contrapontos que evidenciam diferentes formas de se ver como a ciência funciona.

Contudo, apesar de haver diferentes visões a respeito da Natureza da Ciência, julgamos que é possível estabelecermos um conjunto de características que, se não exaurem as discussões sobre o funcionamento da ciência, ilustram em boa medida alguns pontos mais consensuais¹² a esse respeito, como os apontados por Gil Pérez et. al. (2001). Como já sugerimos, não devemos impedir que o labirinto de significados a respeito

¹² Naturalmente, é preciso também certa cautela com um consenso e seu uso em atividades didáticas correlatas à nossa, uma vez que esse consenso relativo pode vir a se tornar um novo conjunto de metodologias tidas por prescritivas do que é fazer ciência. Ou seja, apesar de alguns autores defenderem a utilização de elementos mais consensuais a respeito da atividade científica no ensino, existem outros que são críticos a essas tentativas (ver, por exemplo, Bagdonas, Zanetic e Gurgel, 2014).

da atividade científica nos impeça de ter uma visão adequada do todo. Apesar das divergências em relação à ciência,

Existem, sem dúvida, alguns aspectos essenciais em que se verifica um amplo consenso¹³ e que convém destacar, evitando-se que variações e divergências ocultem o que há de comum nas diferentes abordagens, situação particularmente importante e necessária em Educação em Ciência (Gil Pérez et. al., 2001, p. 135).

Gil Pérez et al. enumeram, portanto, alguns pontos de consenso relativos à atividade científica, e que utilizaremos neste trabalho como referência para o ensino da Natureza da Ciência:

a) Em primeiro lugar, devemos recusar um “Método Científico” bem delimitado, como se tivéssemos uma receita bem definida, com regras a serem seguidas mecanicamente. Mas isso não significa que não existam métodos, no plural (do contrário nosso trabalho ficaria sem propósito!): apenas devemos nos recusar a propalar a noção de senso comum de que existe o método científico, uma cartilha que os cientistas supostamente seguem em suas pesquisas.

b) Devemos recusar um empirismo ingênuo, ou seja, a noção de que o conhecimento científico é resultado de “dados puros”, de que nossos sentidos levam diretamente ao conhecimento. Toda observação implica em um sistema teórico complexo em sua interpretação, e esse sistema teórico determina inclusive o que é observado. Ou seja, os problemas não nos são dados diretamente pela experiência, e sim formulados, construídos. Nossos sentidos são nossa interface com a natureza, mas nosso conhecimento é uma construção complexa de nossas faculdades mentais.

c) Devemos insistir no caráter hipotético da atividade científica e na devida contextualização da experimentação. Os experimentos possuem um papel de destaque na

¹³ Ver nota anterior.

pesquisa científica, uma vez que é como nos comunicamos com a natureza, mas a experimentação só se justifica frente a uma hipótese anterior que lhe dê significado. Nessa concepção, não se trata de pensarmos por meio de certezas baseadas em evidências, e sim em hipóteses, onde se buscam tentativas de resposta da forma mais rigorosa possível, mas que não seguem, como já mencionado, uma metodologia mecânica de pesquisa. Em suma, o conhecimento científico está mais associado a tentativas de explicação e formas complexas de testar essas.

d) Devemos evidenciar a busca pela coerência global. Um resultado experimental, sozinho, nunca é o bastante para se refutar ou comprovar uma hipótese. Deve-se, antes, contextualizar o resultado obtido frente ao programa de pesquisa que lhe dá significado, e buscar sistematicamente alternativas para o resultado obtido. Nossas explicações devem ser continuamente postas em revisão, e devem fazer parte de um conjunto explicativo maior, de princípios mais gerais, como a teoria atômica da matéria, a Termodinâmica, o Eletromagnetismo, a Gravitação. Algo que pode ser sintetizado na máxima “explicar cada vez mais com cada vez menos”.

e) Devemos mencionar o caráter social do empreendimento científico. Os cientistas fazem parte de grupos que trabalham sob um paradigma, e os esforços de um se dão a partir do contexto produzido por muitos. O cientista em geral trabalha com problemas colocados por instituições, colaborando com o *status quo* de determinado campo. Devemos contextualizar o que um determinado cientista faz, deixando claro como ele se encaixa na evolução dos conceitos de uma dada disciplina que se desenvolve dentro de um contexto social.

Ao estabelecermos essas diretrizes, permitimos que nossa narrativa didática assumira um perfil geral aportado nas características da atividade científica comentadas. Naturalmente, cada característica comentada não se apresenta como um item separado dos demais, a ser discutido

pontualmente com os alunos. O objetivo é contemplar em boa medida essas diretrizes, de modo a construir uma caracterização adequada da atividade científica.

Em síntese, pode dizer-se que a essência da orientação científica - deixando de lado toda a ideia de “o método” - se encontra na mudança de um pensamento, atitude e ação, baseados nas “evidências” do senso comum, para um raciocínio em termos de hipótese, por sua vez mais criativo (é necessário ir mais além do que parece evidente e imaginar novas possibilidades) e mais rigoroso (é necessário fundamentar e depois submeter as hipóteses à prova cuidadosamente, isto é, confrontar com o mundo, duvidar dos resultados e procurar a coerência global) (Gil Pérez et. al., 2001, p. 138).

Acreditamos que, mesmo sendo possível elencarmos outras características para a atividade científica, essas comentadas representam um ponto de partida adequado para uma orientação para o trabalho com os alunos. Ainda, não temos a pretensão de fazer com que todas as diretrizes comentadas sejam totalmente contempladas pelas aprendizagens dos alunos. Pensamos que nossa intenção de abordar essas diretrizes, cada uma em maior ou menor grau, constitui, como dissemos, um início adequado para propiciar ao aluno uma imersão nessas questões, e que a atitude geral sintetizada na citação acima passa a ser nosso norte. E pensamos que somente um trabalho contínuo, para além da implementação de uma unidade de ensino, pode pretender resolver totalmente essas questões. Continuaremos sempre trabalhando para que esse seja o caso.

3.2 O Conhecimento do Professor: Contribuições de Lee S. Shulman

“Quem pode faz. Quem não pode ensina.” Com essa conhecida frase atribuída a George Bernard Shaw, Lee S. Shulman, pesquisador renomado em Ensino e professor emérito da Stanford Graduate School of Education, lembra como está impregnada na sociedade um estereótipo de professor que de nada ajuda para enfrentarmos os problemas relacionados à área de educação. Mas, por mais que não gostemos daquele tipo de frase denegridora de nossa profissão, o fato é que Shulman constatou que existem, infelizmente, bases que endossam tal pensamento, ao demonstrarem como a formação e atuação do professor têm sido inadequadas, ao simplificar em demasia o processo.

A partir de avaliações realizadas com professores de escolas básicas dos Estados Unidos desde o final do século XIX, Shulman nos mostrou como é difícil haver um equilíbrio adequado entre diferentes competências desejadas ao professor. Nessa época, exames destinados aos professores se concentravam nos conteúdos das diferentes disciplinas que ele supostamente deveria saber para ser professor. Pouquíssima ou nenhuma atenção era dada ao saber pedagógico do professor, ou seja, sua relação com a didática associada aos conteúdos. Um século depois, o quadro parece ter se invertido: quase a totalidade das competências avaliadas se relacionavam com sua didática em sala, como preparação de planos de ensino, avaliação, questões relacionadas às idiossincrasias do aluno, e gestão escolar. E o conteúdo? Parece ter ficado de lado, o que Shulman chama de o problema do “paradigma perdido”.

O paradigma perdido se refere a um ponto cego em relação ao conteúdo que agora caracteriza a maior parte da pesquisa sobre o ensino e, como consequência, a maior parte de nossos programas de avaliação e certificação de professores (Shulman, 1986, p. 7).

Realizando pesquisas sobre aspectos relativos ao desenvolvimento do conhecimento de professores iniciantes, Shulman e colaboradores procuraram diminuir esse ponto cego, enfrentando questões como a relação entre os conteúdos e a forma de ensiná-los, e quais seriam as melhores formas de se trabalhar esta relação ao longo da formação do professor.

Para subsidiar suas pesquisas, Shulman faz então a seguinte categorização inicial para o conhecimento do professor: o *conhecimento*

do conteúdo da matéria, que é, como a denominação indica, o conhecimento que o professor possui em relação aos conteúdos da unidade curricular que leciona, e também o conhecimento das especificidades deste conteúdo juntamente com suas relações com outros conteúdos; o *conhecimento pedagógico da matéria*, que se relaciona com a transposição do conteúdo da matéria para a atividade de ensino propriamente dita, ou seja, o conhecimento relativo às formas de se tratar didaticamente um conteúdo; e o *conhecimento curricular*, relativo à estrutura organizacional dos conteúdos, em um dado nível de ensino.

À essas tipologias básicas, posteriormente Shulman acrescenta outras quatro (Shulman, 1987): o *conhecimento pedagógico geral*, o *conhecimento dos alunos e suas características*, o *conhecimento dos contextos educacionais*, e o *conhecimento das finalidades e objetivos da educação* como um todo, incluindo suas bases filosóficas e históricas. Para Shulman, qualquer avaliação adequada do professor deveria contemplar essas tipologias acima, uma vez que são esses diferentes elementos do conhecimento que constituem sua desejável competência. Podemos sugerir que qualquer ênfase desproporcional a um dado elemento dessa tipologia não permitirá uma prática profissional adequada.

Cuidando para que as novas pesquisas contemplem o conteúdo da matéria e as formas mais adequadas de discuti-lo com os alunos, podemos trazer, assim como faz Shulman, a noção de Aristóteles de que o derradeiro teste para o entendimento seja justamente nossa capacidade de transformar *conhecimento* em *ensino*. Shulman então retifica o aforisma com que começamos esse item, sugerindo: “Quem pode, faz. Quem entende, ensina” (Shulman, 1986, p. 14).

Shulman propõe ainda um modelo de raciocínio e ação pedagógicos, que consiste em cinco etapas de um processo cíclico (Shulman, 1987): *compreensão*, *transformação*, *instrução*, *avaliação* e *reflexão*:

- i. A *compreensão* se relaciona com o conhecimento dos propósitos, da estrutura da matéria (a organização dos conteúdos) e das ideias internas e externas à disciplina.
- ii. A próxima etapa, a de *transformação*, consiste ainda em quatro sub-etapas: *preparação*, onde há uma interpretação crítica e análise de textos, desenvolvendo-se um repertório curricular e uma clarificação de propósitos; *representação*, que é o uso de um repertório

representacional que inclui analogias, metáforas, exemplos, demonstrações, explicações, etc.; *seleção*, que é a escolha, entre o repertório instrucional, das formas de ensinar, organizar, gerenciar e arranjar; e *adaptação e corte para as características do estudante*, que, como o termo sugere, abarca um grande número de condicionantes, como a consideração das concepções e preconceções dos estudantes, dificuldades relacionadas à cultura e à linguagem, motivações, classes sociais, gênero, idade, etc.

- iii. A seguir, temos a *instrução*, que consiste na gerência, apresentações, interações, trabalho em grupo, ou qualquer outro aspecto relacionado ao ensino propriamente dito.
- iv. A *avaliação*, que é o processo de checagem do entendimento do estudante ao longo do processo de interação, o teste do entendimento do estudante ao final das aulas ou unidades de ensino, e a avaliação de seu próprio desempenho.
- v. E por fim, mas não finalmente, temos a *reflexão*, que consiste na revisão, na reconstrução, na análise crítica de sua atividade e do desempenho da classe.

Esta última etapa, de *reflexão*, naturalmente não encerra o processo, e sim leva a uma nova *compreensão*, devidamente afetada pelas experiências anteriores, iniciando outro ciclo de raciocínio e ação pedagógicos.

Vemos, com estas etapas, uma ilustração de parte de nossa própria atividade de pesquisa, particularmente as relacionadas à construção, planejamento e implementação dos materiais didáticos constituídos para esse fim. Assim, usamos em boa medida essas etapas descritas por Shulman. Naturalmente, essas etapas não formam um contínuo que necessariamente segue essa sequência. Em alguns casos, algumas etapas podem nem existir. O que Shulman sugere é que

um professor deve demonstrar a capacidade de empreender estes processos quando exigido, e sua formação deve prover as habilidades de entendimento e desempenho de que precisará para

justificar sua atuação pedagógica (Shulman, 1987, p. 19).

Ter um conhecimento adequado de sua área de ensino, conhecimento este que contemple as categorias mencionadas anteriormente, permite ainda ao professor uma consciência de como ele sabe o que sabe, o que pode clarificar suas intenções com o ensino, de forma geral. Isso é particularmente importante de se tratar nos processos de formação e certificação dos professores, uma vez que “eles mesmos têm dificuldade em articular o que eles sabem e como eles sabem disso” (Shulman, 1987, p. 6). De que maneira podemos esperar que os professores sistematizem, junto aos seus alunos, uma visão abrangente de sua área de ensino se eles próprios não tiverem clareza disso? Por isso o próprio Shulman enfatiza o conhecimento pedagógico da matéria, dizendo inclusive que é a categoria que provavelmente mais distingue o entendimento do especialista do entendimento do professor (Ibid., p. 8).

Entre estas categorias [citadas], o conhecimento pedagógico da matéria é de especial interesse porque identifica o corpo de conhecimento característico para ensinar. Ele representa a combinação entre conteúdo e ensino em um entendimento de como tópicos particulares, problemas, ou questões são organizados, representados, e adaptados aos diversos interesses e habilidades dos estudantes (Shulman, 1987, p. 8).

Assim, temos um importante norte para manter em nossas atividades, tanto em relação à elaboração dos materiais didáticos produzidos em nossa pesquisa, quanto nas discussões e acompanhamento dos professores participantes. Tentamos manter sempre em mente como determinado conteúdo será discutido com os alunos, e com isso precisamos exercitar nosso conhecimento pedagógico do conteúdo em cada etapa, em cada tópico de discussão (o que também contempla os elementos educacionais preconizados por Gowin, como discutiremos na próxima seção).

Naturalmente, não devemos pretender reduzir o ensino ao discutido aqui, uma vez que esse, como qualquer atividade humana, é algo complexo em muitos níveis (o que também defendemos em relação à Natureza da Ciência, como comentamos ao longo de nosso trabalho). É muito importante que tenhamos referenciais que nos auxiliem em nossos objetivos, mas como o próprio Shulman coloca, “o grande perigo ocorre

[...] quando um princípio geral do ensino é distorcido em prescrição, quando máximas se tornam mandatos” (Shulman, 1987, p. 11). Por isso mesmo pensamos que a esses elementos podemos somar outros, como algumas considerações adicionais em relação ao material didático textual produzido para nossa pesquisa. Para isso, pretendemos trazer alguns elementos da teoria educacional de Bob Gowin, o que faremos a seguir.

3.3 A tríade professor-material-aluno: elementos da teoria educacional de Gowin

Bob Gowin, professor da universidade de Cornell, pensou, entre outros, uma teoria educacional que enfatiza a tríade professor-material-aluno, servindo, portanto, como um importante referencial para a elaboração da unidade de ensino proposta em relação às características desejadas para um material educativo, comentadas a seguir.

O professor e o aluno são os participantes principais dos eventos didáticos¹⁴, sendo o professor um personagem central em relação à eficácia desses eventos. Menos evidente é a posição dos materiais educativos nessa relação, mesmo no caso onde esses materiais definem o tipo de intervenção didática. Naturalmente, espera-se que a apresentação dos conteúdos em um material educativo adequado exerça grande influência nos resultados das atividades educacionais. Pensamos que não dar o devido valor ao material educativo, ao seu planejamento e à sua construção, é um desserviço ao resultado final de uma sequência didática. Ainda assim, temos percebido que mesmo boas propostas didáticas, com um bom compromisso em relação às recomendações especializadas em relação ao conteúdo a ser ensinado, parecem não atentar igualmente para os aspectos de apresentação desse conteúdo.

No contexto educacional proposto por Gowin, o material educativo é um componente indissociável da relação de ensino. Nas atividades didáticas, nesse contexto, “o evento chave é um professor ensinando por meio de materiais significativos¹⁵, para um estudante que irá compreender o significado desses materiais sob condições humanas de controle social”

¹⁴ Compostos ainda pelo currículo e pelo *meio*, que Gowin chama de *governança*, “para descrever os fatores que controlam o significado da experiência educativa. As escolas, as turmas de trinta alunos e os livros de texto estabelecidos pelo estado são exemplos de fatores de governança” (Novak e Gowin, 1995, p. 22).

¹⁵ Um material significativo atenta para algumas funções, descritas a seguir.

(Gowin, 1981, p. 28). Assim, é imprescindível identificarmos a posição do material educativo produzido em uma relação de ensino. De modo geral, o material educativo irá propiciar a base onde o professor e o aluno irão se apoiar para concretizar o ensino desejado. O material “guia a interação professor-aluno” (Gowin, 1981, p. 75). O ensino, entendido como um processo rico de situações didáticas,

muda o significado da experiência humana pela intervenção na vida das pessoas através de materiais significativos, para desenvolver pensamentos, sentimentos, e atos como disposições habituais de modo a trazer sentido à experiência humana usando o critério de excelência apropriado (Gowin, 1981, p. 36).

Ou seja, educar, para Gowin, é possibilitar que o aluno apresente um comportamento diferenciado em relação a situações onde se comportava de outro jeito. “A educação é o processo através do qual procuramos ativamente mudar o significado da experiência” (Novak e Gowin, 1995, p. 21). Por exemplo,

As crianças do primeiro grau do ensino primário que aprendem significativamente a ideia da conservação da matéria passam realmente a ver o mundo de maneira diferente, ano após ano, do que as restantes crianças sentadas a seu lado na mesma sala de aula na mesma terra. Por outras palavras, uma educação que intervém nas vidas das crianças cria um mundo que elas nunca poderiam vislumbrar sem essa educação (Novak e Gowin, 1995, p. 27).

E os “materiais educativos podem ser vistos como uma sequência de eventos primeiros que podem ser usados pelos seres humanos para promover novos eventos” (Gowin, 1981, p. 55). Esse propósito, por sua vez, leva a um outro: o de propiciar ao aluno, através de situações didáticas controladas, uma independência intelectual cada vez maior de modo a necessitar cada vez menos de situações didáticas. Ou seja, para Gowin a causa última da educação controlada seria a autoeducação, onde o sujeito estaria apto a resolver seus próprios problemas em situações não-didáticas, em sua vida quotidiana. “Nós estamos interessados em educar

as pessoas e em ajudar as pessoas a educarem-se a elas próprias” (Novak e Gowin, 1995, p. 17).

Para Gowin, os conteúdos a ensinar devem ser tratados de modo a produzir, no aluno, um *sentimento de significância*, que pode ser entendido como o aumento de conexões significativas em sua experiência (Gowin, 1981, p. 43), isto é, o entendimento da posição desses conteúdos em outros contextos que justificam, caracterizam e clarificam seus significados. Isso vai ao encontro das ideias de David Ausubel, que sugere que uma aprendizagem significativa está relacionada com os subsunçores presentes no aluno, que devem ser relevados e/ou modificados de modo a comportar novas relações entre aquilo que já se sabe e aquilo que se está aprendendo (Moreira, 1982). O oposto é uma aprendizagem memorística, que acaba por se constituir como um conhecimento estanque, de pouco ou nenhum significado para o estudante.

Para aprender significativamente, o indivíduo deve optar por relacionar os novos conhecimentos com as proposições e conceitos relevantes que já conhece. Pelo contrário, na aprendizagem memorística, o novo conhecimento pode adquirir-se simplesmente mediante a memorização verbal e pode incorporar-se arbitrariamente na estrutura de conhecimentos de uma pessoa, sem interagir com o que já lá existe (Novak e Gowin, 1995, p. 23).

O sentimento de significância está ligado diretamente à efetiva compreensão do que se está aprendendo. O que motiva o aluno a continuar aprendendo é justamente este sentimento. Sem a apreensão da importância daquilo que se está estudando, também fica prejudicada a justificativa que faz com que o aluno queira efetivamente aprender.

Sentimentos são muito importantes para aprender. Eles têm um significado especial quando nós consideramos o aprendizado no contexto do ensino [...]. Alguns eventos se destacam porque provocam e expressam nossos sentimentos. Eles prendem nossa atenção porque nós sentimos que eles são significantes. E por vezes ocorre que a apreensão do significado e sentimentos elevados ocorrem juntos (Gowin, 1981, p. 132).

Ocorrem juntos, assim como uma piada só se mostra engraçada, ou seja, é compreendida, quando vem acompanhada do sentimento associado a esta compreensão, no caso, a risada (Ibid., p. 132).

Assim, para avaliarmos em que medida um material educativo atinge o esperado sentimento de significância, precisamos ouvir o aluno no processo, evidentemente. Precisamos atentar para suas impressões, suas dúvidas, suas angústias em relação a pontos não compreendidos.

Em relação a um material construído com o objetivo de promover o aprendizado, como é o caso da presente pesquisa, a compreensão e o sentimento de significância poderão ser atingidos apenas se esse material atentar para esses cuidados, ou seja, cuidar com que possa, efetivamente, ser inteligível, compreendido com o atual nível de ensino do aluno. A aprendizagem já é, *per si*, algo que demanda esforço¹⁶, do que precisamos diminuir ao máximo outros complicadores para que o estudante não precise ser levado a situações perniciosamente desestimulantes, uma vez que já precisa se preocupar com as dificuldades intrínsecas à aprendizagem.

Claro, o material educativo não é autossuficiente (embora, pensamos, bons materiais tendam para esse limite): ele é um dos elementos da relação didática. O professor ocupa uma posição imprescindível, uma vez que é ele quem detém os pressupostos educacionais para promover efetivamente o ensino proposto, além de construir o material a partir destes pressupostos (quando é o caso). Quando esses dois fatores se encontram em um ponto ótimo, um material educativo construído competentemente e um professor comprometido com sua melhor implementação, temos uma situação das mais ricas didaticamente. Para tal, naturalmente os alunos deverão ser efetivamente atingidos, em uma relação estabelecida entre professor, material e aluno, constituindo uma tríade praticamente definidora do processo de ensino-aprendizagem.

Ensinar requer uma autoridade em relação ao conteúdo a ser ensinado, no sentido de haver o domínio, por parte do professor, dos elementos necessários às melhores escolhas didáticas de tal modo a propiciar, ao aluno, a construção de seu conhecimento. Ou seja, um domínio não apenas em relação ao conteúdo a ser construído pelo aluno, mas em relação ao conhecimento de como ensiná-lo, para permitir,

¹⁶ “É uma crença comum a de que a aprendizagem é automática e sem esforço, e que se dá de um modo contínuo e cumulativo ao longo da vida. Porém, temos razões, e algumas evidências, para duvidar desta crença” (Novak e Gowin, 1995, p. 26).

efetivamente, essa construção. Isso se reflete na função do professor enquanto agente determinante na elaboração do material educativo. “O conhecimento especializado e o valor associado às disciplinas devem ser reestruturados para o uso no ensino. A autoridade do professor é baseada na reformulação dos materiais [...] requeridos pedagogicamente” (Gowin, 1981, p. 64). Dito de uma outra maneira, é tarefa do professor “desempacotar” o conhecimento documentado a fim de torná-lo adequado para fins instrucionais” (Moreira, 1990, p. 72).

Essas ideias encontram um paralelo em Yves Chevallard (1997), com a noção de transposição didática, onde o *saber sábio*, aquele originalmente produzido pelo pesquisador, é selecionado e modificado de modo a melhor adaptá-lo ao ensino, tornando-se o *saber a ensinar*. A transposição didática implica em uma descontextualização daquilo que se deseja ensinar, de modo que só os resultados, e não os meios pelos quais foram obtidos, são ensinados ao aluno (Chevallard, 1997). Mas temos uma ressalva importante: nosso objetivo, com este trabalho, não é limitado ao ensino de alguns conceitos científicos estanques, onde certamente os instrumentos descritos por Chevallard tomam lugar, e sim o de promover ao aluno um estudo histórico contextualizado da Natureza da Ciência. Assim, embora certamente algumas simplificações sejam inevitáveis, há aqui o compromisso de se manter, tanto quanto possível, a historicidade do tema. Diferentemente do que se costuma se efetivar no ensino de física, procuramos trazer ao aluno contextos significativamente mais comprometidos com a história, e com alguns modos de proceder do cientista.

De todo modo, é claro que mesmo com esse compromisso histórico e filosófico, é inevitável que incorramos em simplificações, alterações, recortes, ocultações, e ênfases deliberadas que são praticamente inevitáveis em toda construção didática. Em suma, em toda *transposição didática*. Mas a ciência dos aspectos relacionados a essa transposição possibilita ao professor escolhas conscientes de contingência, optando pelas menos onerosas à didática, enfim, buscando atingir a melhor relação possível entre a descaracterização inevitável do contexto de descoberta e o aprendizado dos saberes elencados como centrais em determinada sequência didática. E esse saber recortado à medida, tem um alvo. Não é um simples exercício teórico, e muito menos uma produção de material que se encerra em si. O alvo dessa construção deve ser o aluno.

Nosso objetivo, como preconiza Gowin, é estar, a cada passo, preocupado com nosso interlocutor - o aluno, e ao longo da construção de nosso material didático procuramos manter isso em mente (o que vai ao

encontro da noção de *conhecimento pedagógico do conteúdo*, segundo Shulman, como discutimos na seção anterior). A referida autoridade do professor também assume, então, o caráter de não perder de vista o que se deseja, diga-se, compartilhar significados com o aluno, o que resulta em um maior cuidado com os instrumentos preparados para tal. “Visões clássicas de ensino tomam o conhecimento da disciplina específica como central. Tão central, de fato, que o estudante é quase totalmente esquecido” (Gowin, 1981, pg. 64). Um material educativo que atente para isto fará, pelo aluno, muito mais que um simples relato explicativo de conceitos e situações. A preocupação com o processo acaba por ser tornar condição indispensável para o produto: para que o aluno adquira um sentimento de significância para com os assuntos tratados em uma sequência didática, essa mesma precisa estar estruturada de modo a promover esse sentimento. Ou seja, se se quer atingir um *sentimento de significância*, o material deve ser *significativo*. Para isso, deve ser produzido deliberadamente de modo a servir a algumas funções.

Apontamos a seguir as funções básicas e características inter-relacionadas de um material educativo para que ele possa ser considerado, segundo Gowin, um material significativo, já apontando alguns vínculos com o material produzido e implementado em nossa pesquisa. Conforme apontado por Gowin (1981, p. 112), os materiais significativos servem:

- i. *Como veículos do critério de excelência*. Materiais educativos são instrumentos calibrados para o uso nas atividades didáticas. Para que sejam uma referência básica no processo de educação, precisam estar devidamente articulados em relação ao campo específico de conhecimento, e também em relação aos critérios didáticos pretendidos. Em suma, precisam estar devidamente compromissados com as recomendações acadêmicas em relação aos conteúdos a serem ensinados, e igualmente compromissados com aspectos didáticos relacionados ao ensino desses conteúdos. Consequentemente, os materiais também são uma autoridade no sentido de servir ao aluno como fonte de consulta confiável.

No caso de nossa pesquisa, conforme discutiremos na seção 5.1, procuramos garantir o critério de excelência por meio da escolha e transposição, adequada ao nível escolar pretendido, de trabalhos acadêmicos e de divulgação

científica, de modo a construir uma narrativa que, apesar de fluida e próxima ao estudante, é compromissada com pesquisas acadêmicas devidamente fundamentadas. Essa narrativa foi ainda produzida atentando-se às preocupações didáticas descritas nesse capítulo, particularmente aos conhecimentos necessários ao professor, segundo Shulman, e com o modelo de raciocínio e ação pedagógicos também discutidos na seção sobre esse autor, juntamente com a presente discussão das funções de um material educativo, segundo Gowin.

- ii. Atentando ao critério de excelência, os materiais educativos conseqüentemente servem *como organizadores conceituais* que permitem sua consulta, tanto pelo aluno como pelo professor, sempre que houver necessidade de lembrar ou analisar algum ponto de seu conteúdo. O material passa a ser a plataforma de conceitos e relações entre esses, sobre o qual o aluno pode se permitir um crescimento por meio de seu acesso. Esse crescimento é possibilitado pelo material até um nível que depende de condições complexas e individuais de subsunçores presentes nos alunos, mas que será maximizado ao seu nível ótimo com a intervenção do professor.

Com o material confeccionado para a implementação da unidade de ensino proposta em nossa pesquisa, pretendemos constituir um organizador conceitual para o assunto de Gravitação, e dos processos escolhidos para se discutir a Natureza da Ciência. Mais uma vez, esses organizadores conceituais estão devidamente embasados em trabalhos acadêmicos que julgamos adequados aos nossos propósitos, apropriadamente transpostos de modo a permitir ao aluno seu entendimento a partir de seus conhecimentos prévios.

- iii. *Como registro de eventos primários usados para promover novos eventos.* Os materiais servem ao propósito de permitir um crescimento cognitivo cada vez

maior, com a meta final de possibilitar que o aluno necessite cada vez menos de seu auxílio, assim como alguém que está aprendendo a andar de bicicleta necessita cada vez menos das rodinhas de apoio (Gowin, 1981, p. 113). Mas, contrariamente ao que acontece com a analogia, o material antigo não perde o seu propósito. Pode certamente ser reutilizado em outras situações didáticas futuras, integralmente ou com adaptações e acréscimos adequados a esta nova situação.

Com as atividades realizadas ao longo na unidade de ensino proposta em nossa pesquisa, pretendemos que o aluno desenvolvesse uma percepção em relação à atividade científica, de modo a mobilizá-la em outros contextos, com outros assuntos. Embora nossa especificidade tenha ficado circunscrita à Gravitação, procuramos, mesmo na narrativa utilizada nos textos e nas atividades realizadas com os alunos, sugerir que a análise lakatosiana¹⁷ trabalhada seja de alcance amplo, em outros contextos e outros assuntos. Por exemplo, os alunos, a partir das discussões realizadas no contexto da Gravitação, conseguiram tecer considerações bastante relevantes em relação a colocações variadas sobre a atividade científica, conforme discutiremos em nossos resultados.

- iv. *Multiplicadores de ideias e significados*. Os materiais educativos claramente servem como aporte na obtenção de conhecimento sem que o sujeito precise repetir todos os passos para se chegar àquele, constituindo o que Popper (1975) chama de mundo 3: um mundo de ideias e significados passíveis de serem considerados como tendo uma realidade objetiva. Cada conceito tratado pelo material permite ressignificações de estruturas mentais já presentes no aluno e a obtenção de outras novas, fazendo com que se multiplique os conhecimentos do aluno, no aspecto individual dessa função para o material educativo. E, de forma coletiva, esse material propicia o mundo 3 de

¹⁷ Conforme discutiremos, não trouxemos ao aluno esse termo, ou seja, restringimo-nos aos elementos de sua epistemologia.

Popper, possibilitando o crescimento intelectual de toda a sociedade.

O material produzido em nossa pesquisa estabelece relações entre campos conceituais que se complementam, ao pretender trazer elementos da Natureza da Ciência para o ensino de Física. O resultado se soma a outros trabalhos com intenções correlatas, ajudando a estabelecer um conjunto compromissado de opções didáticas ao professor de Física e ciências de modo geral. Contudo, esse estabelecimento é apenas uma face de nosso trabalho, uma vez que, segundo nossos objetivos, pretendemos estabelecer um conjunto de parâmetros para um tratamento didático de nossa proposta, e, como causa final aristotélica, propiciar que todos esses assuntos sejam cada vez mais trabalhados junto aos estudantes.

Podemos acrescentar, às funções já descritas, o caráter chamativo e motivador do material educativo, o que poderíamos associar a uma função de *instigador à aprendizagem*. O aluno estará em melhores condições de apreender novos significados se for atraído para tal. Um bom material certamente jogará com a inclinação do aluno em direção ao que se pretende, fazendo-se as melhores escolhas didáticas que o motivem na busca do conhecimento. A maneira com que os conteúdos são apresentados, as narrativas escolhidas, as disposições das possíveis imagens e vídeos (como o presente caso de nossa pesquisa), e até mesmo o cuidado estético com o material, poderá servir de facilitador para o aprendizado do aluno, conforme também discutiremos na seção 5.1, sobre a caracterização da produção do material didático utilizado em nossa pesquisa.

O sentimento de que algo é significativo é o primeiro passo para que o aluno seja conduzido a mundos ulteriores ao seu. “A experiência de sentimentos significativos no contexto do ensino dá aos estudantes razões para escolherem aprender” (Gowin, 1981, p. 132). Quando isso ocorre, o conhecimento passa a ser sua recompensa intrínseca (Ibid., p. 133).

4. Procedimentos metodológicos

Delinearemos aqui o problema e as questões de pesquisa, bem como uma primeira apresentação dos procedimentos a serem seguidos ao longo dessa. Após, faremos uma caracterização do tipo de pesquisa escolhida, de suas fontes de informações e dos instrumentos de coleta.

4.1 Problema de pesquisa

“Quais os condicionantes para a implementação, no Ensino Médio, de um material didático que trata da Natureza da Ciência baseado na visão de Lakatos, mediante uma abordagem da Gravitação, em conformidade com resultados de pesquisas em Educação em Ciências?”

4.2 Questões de Pesquisa

1. Qual a recepção geral, por parte dos professores e alunos, de um material didático que trata da Natureza da Ciência baseado na visão de Lakatos, mediante uma abordagem da Gravitação, em conformidade com resultados de pesquisas em Educação em Ciências?
2. Qual a influência da utilização desse material na compreensão dos alunos sobre a Natureza da Ciência na visão de Lakatos?
3. Que dificuldades foram apresentadas pelo professor ao implementar a unidade de ensino proposta?
4. Que dificuldades foram apresentadas pelos alunos ao longo da implementação da unidade de ensino proposta?

4.3 Contexto da implementação da pesquisa

A presente pesquisa foi conduzida dentro do contexto profissional de um dos pesquisadores, a saber, as instituições federais de ensino, particularmente o Instituto Federal Catarinense (IFC – Campus Blumenau) e o Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC – Campus Jaraguá do Sul). O campus de Jaraguá do Sul possui um curso técnico de

química integrado ao Ensino Médio (contexto específico de nossa pesquisa), um curso superior em Licenciatura em Física e cursos subsequentes na área de vestuário. Nesse campus há nove professores de física, sendo sete efetivos e dois temporários (um desses o colaborador de nossa pesquisa nesse campus). Excetuando-se os professores temporários, os demais atuam em regime de dedicação exclusiva. Esses professores em sua maioria possuem pós-graduação em áreas específicas do campo da física, com exceção de um, com pós-graduação na área de ensino de física. Já no campus de Blumenau, quando da implementação de nossa pesquisa, havia apenas dois professores de física, sendo um efetivo e outro temporário. Nesse campus de Blumenau havia um curso técnico de informática integrado ao Ensino Médio (contexto específico de nossa pesquisa nesse campus), e um curso em implementação de eletromecânica. Uma primeira implementação piloto de nossa pesquisa foi realizada, conforme discutiremos na seção 5.2, no campus do IFC de Blumenau, no segundo semestre de 2014. Como discutiremos, o professor colaborador da pesquisa nesse campus foi o professor efetivo, com pós-graduação na área de ensino de ciências.

Escolhemos essas instituições pela conveniência, para uma pesquisa conduzida com um maior grau de acompanhamento por parte do pesquisador, em razão de seu deslocamento a diferentes campi. Esse deslocamento exigiu um empenho considerável, uma vez que o acompanhamento foi realizado por meio de sucessivas pequenas viagens entre um e outro campus (Jaraguá do Sul e Blumenau).

Os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia são oriundos dos anteriormente denominados Centros Federais de Educação Tecnológica (por sua vez oriundos das antigas Escolas Técnicas Federais), e Escolas Agrotécnicas Federais. Por sua generalidade de cursos e níveis de ensino, do básico à Pós-Graduação, e por sua importância no atual cenário educacional brasileiro, uma vez que é constituído por uma rede que se estende a todo o território nacional, essas instituições federais de ensino compõem um contexto profícuo para se pesquisar diferentes temas para se contribuir com a educação em geral.

Também escolhemos essas instituições por entendermos que suas metas¹⁸, de uma educação científica e tecnológica de qualidade, refletem

¹⁸ Missão - Promover a inclusão e formar cidadãos, por meio da educação profissional, científica e tecnológica, gerando, difundindo e aplicando conhecimento e inovação, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico e cultural. Visão - Ser instituição de excelência na educação profissional, científica e tecnológica, fundamentada na gestão participativa e na

objetivos em comum com as propostas de nossa pesquisa. Contudo, importante dizer, nossos propósitos não se restringem, naturalmente, a instituições com esse perfil apenas, e, sim, pretendemos que as considerações e constatações obtidas a partir dessa pesquisa sejam de valia a todo e qualquer professor preocupado com as questões relativas ao entendimento dos métodos de construção de conhecimento científico, atuando em diferentes contextos educacionais. Nossa escolha por essas instituições federais apenas reflete um modo efetivo para se delimitar nosso foco e operacionalizar a pesquisa em um contexto com características em comum, permitindo que nossas constatações assumam uma validade nesse contexto.

Inicialmente pensamos em implementar a unidade de ensino proposta em outras instituições, como as escolas estaduais, mas pensamos que isso produziria alguns complexificadores desnecessários, como tornar a pesquisa perniciosamente muito abrangente e em contextos diferentes, o que poderia produzir dificuldades em sua operacionalização, e provavelmente produziríamos uma base de comparação superficial. Preferimos, pois, delimitar a pesquisa em um conjunto uniforme de instituições, que bem poderia ser as escolas estaduais, mas, como já comentado, optamos pela melhor operacionalização a partir do contexto profissional do pesquisador.

Sobre a escolha dos professores colaboradores da pesquisa, o professor de Blumenau, com um perfil acadêmico próximo às nossas intenções com a história e filosofia da ciência, foi uma escolha natural também por se mostrar desejoso em colaborar com uma pesquisa voltada a essas questões. Já em Jaraguá do Sul, havia alguns professores com perfil próximo às propostas da pesquisa, mas acabamos acertando uma colaboração com o professor que, não necessariamente tinha maiores conhecimentos na área de história e filosofia da ciência, mas aquele que se mostrou, desde as primeiras conversas, mais interessado com o assunto, e prontamente disposto a participar.

4.4 Procedimentos da pesquisa

indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão (Em <<http://www.ifsc.edu.br/menu-institucional/missao>>. Acesso em: 08 de outubro de 2014).

1. Elaboração de uma unidade de ensino¹⁹ composta por:
 - a) Três textos sobre o desenvolvimento da Gravitação, contemplando importantes momentos da evolução de seus conceitos sob um olhar epistemológico;
 - b) Três apresentações eletrônicas para ilustrar os assuntos tratados nos textos e subsidiar as discussões pretendidas;
 - c) atividades baseadas nos assuntos trabalhados, promovendo a discussão em classe para uma melhor apreensão dos elementos estudados.

2. Busca de parcerias com professores de física em atuação nos Institutos Federais de Educação Científica e Tecnológica, contexto da pesquisa. Essa parceria se caracteriza basicamente pela intenção do professor em participar da pesquisa, desde seu planejamento e implementação da unidade de ensino até as entrevistas.

3. Acompanhamento da prática dos professores com a unidade de ensino proposta, de modo a obter um importante conjunto de conhecimentos acerca do cotidiano em sala de aula.

4. Avaliação das atividades realizadas junto aos professores e alunos participantes: suas influências, sua recepção, suas dúvidas, dificuldades, e a eficácia geral da dinâmica proposta.

5. Otimização dos materiais produzidos a partir dessa avaliação, de modo a intensificar suas potencialidades em outras implementações.

6. Apontamento de possíveis conclusões e contribuições para a educação científica em geral.

¹⁹ Os textos e apresentações eletrônicas dessa unidade de ensino estão disponíveis em <http://luizarthury.wix.com/isaque-alberto>.

4.5 Caracterização da pesquisa

A presente pesquisa se enquadra como qualitativa, resumidamente apontada como uma “tentativa de uma compreensão detalhada dos significados e características situacionais [do que é pesquisado]” (Richardson, 1999, p. 90). Para Flick,

Esse tipo de pesquisa visa a abordar o mundo “lá fora” (e não em contextos especializados de pesquisa, como os laboratórios) e entender, descrever e, às vezes, explicar os fenômenos sociais “de dentro” de diversas maneiras diferentes [como:] analisando experiências de indivíduos ou grupos [...], examinando interações e comunicações que estejam se desenvolvendo [e] investigando documentos (2009, p. 8).

Alguns elementos que propiciam esta compreensão consistem na:

escolha adequada de métodos e teorias convenientes; no reconhecimento e na análise de diferentes perspectivas; nas reflexões dos pesquisadores a respeito de suas pesquisas como parte do processo de produção de conhecimento; e na variedade de abordagens e métodos (Flick, 2009, p. 23).

Isto não exclui necessariamente uma análise de natureza mais quantitativa, que pode ajudar na identificação de categorias de análise e na representação numérica de situações e conclusões, mas o foco fica sendo a “discussão devidamente orientada em um quadro teórico” (Richardson, 1999, p. 90).

Embora a adoção de um quadro teórico não seja, *a priori*, aceita consensualmente por pesquisadores qualitativos (Mazzotti e Gewandsznajder, 2002), “contar com um esquema conceitual anteriormente à coleta de dados é de grande utilidade para a identificação de aspectos relevantes e relações significativas nos eventos observados” (Mazzotti e Gewandsznajder, 2002, p. 158). Moreira (1990, p. 47) coloca que “[...] a ausência de fundamentação teórica é um mal que permeia a pesquisa educacional e muito contribui para a crítica feita por pesquisadores de outras áreas”. Este autor (e nós também) sugere que “[...] o pesquisador em ensino não pode prescindir de referenciais

teóricos, sob pena de estar fazendo um trabalho às cegas” (Moreira, 1990, p. 51).

Quando vamos a campo, quando observamos, entrevistamos, interagimos, obtemos informações que, de um modo ou de outro, acabam por virar texto. Esse, por sua vez, passa a constituir nossa base para constatações e comunicações.

Os textos servem a três finalidades no processo de pesquisa qualitativa: representam não apenas os dados essenciais nos quais as descobertas baseiam-se, mas também a base das interpretações e o meio central para a apresentação e a comunicação de descobertas (Flick, 2009, p. 83).

Uma vez que codificamos a realidade por meio de texto, substituímos aquela por esse em nossas considerações posteriores. Naturalmente, a realidade que se extrai do texto não é mais a realidade primeira, mas a realidade já alterada por nossos métodos de observação e registro. Por isso sempre estaremos produzindo conhecimento sob um viés, sendo que, para minimizarmos a distância (que sempre haverá) entre a realidade e nossas impressões dela, concebemos um processo cíclico, onde há uma constante realimentação entre *observação*²⁰ (experiência), *construção* (textos como versões da realidade) e *interpretação* (atribuição de significados), nova observação e assim por diante, juntamente com algums sugestões comentadas na sequência.

Para se referir ao processo de transformação da realidade em texto, Flick (2009) resgata o conceito aristotélico de *mimese*, que originalmente se refere à transformação de mundos naturais em mundos simbólicos, mas que em tempos mais recentes tem sido utilizado justamente para representar nossa compreensão do mundo e dos textos (Flick, 2009, p. 86). Flick traz uma categorização proposta por outro autor, Ricoeur, relativa ao processo cíclico mencionado acima: *mimese*₁, *mimese*₂ e *mimese*₃.

A primeira, *mimese*₁, refere-se ao conjunto de impressões prévias que temos acerca da natureza, da realidade. São nossas interpretações primeiras, que, a partir de nossa vivência, constituem-se como uma transformação do real em um conjunto de símbolos e significados

²⁰ Naturalmente, a observação não é neutra, já sendo o resultado de uma orientação teórica. Por isso esse processo só se fundamenta em uma relação cíclica entre esses componentes.

primeiros. A *mimese*₂ se caracteriza pela transformação desses símbolos primeiros, de nossa visão constituída do mundo, em símbolos textuais que acabam por representar aquele. São nossos textos, de nossas narrativas mais simples, usadas na comunicação com outras pessoas, aos textos constituídos para fins de pesquisa. Quando agora partimos desses textos constituídos pela *mimese*₂, para uma nova interpretação da realidade a partir desses (ou simplesmente a interpretação desses textos), estamos no processo de *mimese*₃, que nos leva do texto à compreensão do texto (Flick, 2009, p. 87).

Para que possamos obter um conjunto de dados que nos possibilite construir possíveis respostas às nossas questões de pesquisa, os processos de *mimese* engendrados acabam por transpassar a categorização descrita acima. Deste modo, quando escolhemos e conduzimos nossos instrumentos de coleta de dados, estamos assumindo preconceções compulsórias a respeito do mundo, impregnadas ainda por nossas influências teóricas, como as que são apresentadas na fundamentação de nossa pesquisa. Essas concepções serão invariavelmente transformadas (*mimese*₂) em texto, que posteriormente acabam por se constituir como nosso mundo (nosso recorte) de pesquisa. Esse processo de *mimese*, de transformação do mundo primeiro em texto, passa por um conjunto de instrumentos conscientemente produzido para esse fim, como discutimos na sequência.

Toda pesquisa necessita de informações, e essas precisam ser obtidas por meio de instrumentos de coleta constituídos para esse fim. No presente caso de nossa pesquisa, esses instrumentos são constituídos por questionários e entrevistas, complementados ainda pela observação do espaço de interação social, buscando uma triangulação²¹, ou seja, o uso de diferentes instrumentos, que permita uma avaliação de informações que se complementam, com vista a obter um conhecimento devidamente fundamentado e, conseqüentemente, de qualidade (Flick, 2009).

A triangulação implica que os pesquisadores assumam diferentes perspectivas sobre uma questão em estudo ou, de forma mais geral, ao responder a perguntas de pesquisa. Essas perspectivas podem ser substanciadas pelo emprego de vários métodos e/ou em várias abordagens teóricas (Ibid., p. 62)

²¹ Existem diversos tipos de triangulação, como triangulação de teorias, de investigadores, de métodos (Flick, 2009, p. 62).

Os questionários apresentam algumas vantagens e, claro, limitações. Entre as vantagens, podemos citar o fato de podermos atingir um grande número de pessoas em pouco tempo. O questionário também permite o anonimato das respostas (se for o caso), e sua feitura em um tempo conveniente às pessoas. Entre suas limitações, temos o impedimento de esclarecimentos por parte do pesquisador, nos casos de problemas de interpretação, e o fato de não oferecer garantias de que as pessoas responderão com a profundidade desejada pelo pesquisador (Gil, 2008, p. 122). Em relação à forma das questões, podemos definir três tipos básicos: fechadas, abertas e dependentes. As fechadas oferecem um conjunto definido de respostas, onde a pessoa apenas aponta sua opção. Esse tipo de questão oferece uma grande facilidade para seu processamento, mas envolve o risco de não incluir outras opções relevantes à pesquisa.

Nas questões abertas, os respondentes oferecem suas próprias respostas, com a profundidade que lhes convir. “Esse tipo de questão possibilita ampla liberdade de resposta [...], mas nem sempre as respostas oferecidas são relevantes para as intenções do pesquisador” (Gil, 2008, p. 122). Também fica dificultada a tabulação dos dados obtidos, em função da possível heterogeneidade das respostas. Mesmo com essas dificuldades, preferimos usar em nossa pesquisa esse tipo de questão, justamente pelo grau de liberdade oferecido ao respondente. Por fim, temos as questões do tipo dependente, que se constitui por questões interligadas, onde cada sujeito poderá responder diferentes questões. Por exemplo, uma questão pode solicitar ao respondente uma informação que, a depender da resposta, o encaminhará para determinada outra questão.

Em relação à entrevista, escolhemos a entrevista semipadronizada como referência para a constituição de nossos instrumentos. De modo geral, podemos dizer que neste tipo de entrevista “o entrevistador faz perguntas específicas, mas também deixa que o entrevistado responda em seus próprios termos” (Mazzotti e Gewandsznajder, 2002, p. 168). Mas podemos encontrar em outros autores a noção de que uma entrevista que se dê a partir de perguntas previamente definidas seja uma entrevista estruturada (Gil, 2008), onde sua condução é que pode ser classificada como aberta ou dirigida, segundo proposta do Grupo de Estudos, e Intervenções “Inovação Educacional, Práticas Educativas e Formação de Professores” (INOVAEDUC), sob responsabilidade do Prof. Dr. Eduardo A. Terrazzan. Nessa perspectiva, podemos dizer que utilizamos em nossa pesquisa entrevistas estruturadas, com condução aberta, ou seja, sem restrições às respostas dos entrevistados.

Segundo Flick (2009), na entrevista semipadronizada, as questões podem ser ainda classificadas como: *abertas*, aquelas onde há uma abertura para que o entrevistado discorra a respeito de determinado assunto; *controladas pela teoria e direcionadas para as hipóteses*, aquelas que servem ao propósito de tornar mais explícito o conhecimento implícito do entrevistado, por meio do oferecimento de questões que levem esse a adotar ou recusar a afirmação feita; e as *confrontativas*, que levam o entrevistado a reexaminar criticamente o que foi colocado até o momento, à luz de alternativas concorrentes. Exemplificando, a pergunta “comente sobre sua visão a respeito da atividade científica” se enquadraria como *aberta*, “você acha que ensinar física por meio da evolução de seus conceitos pode ajudar os alunos a compreender melhor esses?” ilustraria o segundo tipo, *controlada e direcionada*, e “mas alguns estudos mostram que fazer exercícios, apenas, não permitem que o aluno aprenda como a ciência funciona. Como você lida com essa questão?” seria uma questão do terceiro tipo, *confrontativa*.

Para que a entrevista se apresente como uma fonte de boas informações, seguimos algumas recomendações. Basicamente, a entrevista deve ser aplicada de modo a não se estender muito, uma vez que “uma entrevista que se prolongue muito além de trinta minutos se torna repetitiva e se empobrece consideravelmente” (Triviños, 1987, p. 147). A entrevista deve ser marcada segundo um horário adequado para o entrevistado, de modo que este possa se dedicar confortavelmente ao tempo de questionamento. A entrevista deve ser iniciada, e também mantida, com uma atenção em relação aos “elementos humanos que permitam um clima de simpatia, de confiança, de lealdade, de harmonia entre ele e o entrevistado” (Ibid., p. 149). Naturalmente não existem receitas infalíveis e universais neste sentido, mas “a modéstia, e não a arrogância, contribui de maneira singela para que se estabeleça o ambiente que permite a mais ampla expressão de naturalidade, de espontaneidade” (Ibid.).

De modo geral, “as boas entrevistas caracterizam-se pelo fato de os sujeitos estarem à vontade e falarem livremente sobre seus pontos de vista” (Bogdan e Biklen, 2003, pg. 136). Ou seja, fazer com que o entrevistado sinta sua importância para a atividade de pesquisa, ao mesmo tempo em que se constrói uma simpatia recíproca:

Quando se tem alcançado esse nível de simpatia recíproca, de confiança mútua, entre informante e pesquisador, podemos dizer que os dados fornecidos pelo entrevistado são vitais para a

pesquisa, porque o informante marca presença também com verdadeiro interesse, isto é, está participando ativamente no desenrolar da investigação (Triviños, 1987, p. 150).

O entrevistador pode pedir clarificações para que o entrevistado explique melhor o que pretende dizer, sempre lembrando do caráter amigável no processo, e com o cuidado de não interromper excessivamente o entrevistado. Ainda, o pesquisador deve se abster de tecer comentários de juízo sobre as questões respondidas.

Mesmo se, por exemplo, os comentários racistas do professor sobre os seus alunos o perturbarem, terá de controlar as suas reações, recordando que o objeto da investigação é a compreensão das diferentes perspectivas pessoais e não uma lição aos sujeitos (Bogdan e Biklen, 2003, pg. 138).

A entrevista é uma das principais técnicas de trabalho em quase todos os tipos de pesquisa utilizados nas ciências sociais (Lüdke e André, 1986), mas pode apresentar algumas limitações. De um modo geral:

Requer bastante tempo e energia, podendo ser dispendioso para o pesquisador; seu sucesso está na dependência da disposição do entrevistado para informar e de sua capacidade para informar com precisão; é influenciado por tensões, forças e outros fatores, que afetam seja o entrevistador, o entrevistado ou ambos; é influenciado pela “predisposição” emocional do entrevistado – por seu auto-interesse ou auto-piedade, pelo seu desejo de aparecer com considerável superioridade, sua hesitação em relatar fatos pouco lisonjeiros para si mesmo, seu impulso de agradar ou antagonizar o entrevistador (Rummel, 1972, pg. 100).

E, por mais que esperemos que as respostas sejam fidedignas, “em alguma medida, qualquer entrevistado vai falsear e deformar os fatos que revela” (Rummel, 1972, pg. 100). Podemos minimizar o impacto desta característica humana em nossas considerações de pesquisa, abordando um grupo maior de entrevistados para se traçar um olhar geral sobre as questões pretendidas. Muito importante neste sentido, e também para obtermos um conjunto mais rico de informações, é um cuidado

denominado “atenção flutuante”. Durante uma entrevista, certamente muito se perderá se for dada atenção apenas às palavras pronunciadas pelo entrevistado. A atenção flutuante é o olhar dirigido, também, para outros aspectos comunicativos do entrevistado.

Há toda uma gama de gestos, expressões, entonações, sinais não-verbais, hesitações, alterações de ritmo, enfim, toda uma comunicação não verbal cuja captação é muito importante para a compreensão e a validação do que foi efetivamente dito (Lüdke e André, 1986, p. 36)

Assim, é importante que o entrevistador faça um relato tão logo quanto possível do que foi observado na entrevista, para que esta gama de comportamentos não seja perdida. “Uma regra geral sobre quando devem ser feitas as anotações é que, quanto mais próximo do momento de observação, maior sua acuidade” (Lüdke e André, 1986, p. 32). Ou seja, o que não for anotado será facilmente perdido para a futura discussão dos resultados. Este é um dos riscos que se corre, por exemplo, quando da utilização de um gravador, apenas, para gravar a entrevista. Neste sentido, uma entrevista bem conduzida deve levar em consideração as vantagens e desvantagens do registro com um gravador, anotação direta ou uma combinação de ambos.

O gravador possui a limitação de só registrar o que foi dito oralmente. Por outro lado, deixa o entrevistador mais livre para prestar atenção ao entrevistado como um todo. Esta opção também trará um maior tempo para compilar a entrevista, uma vez que normalmente exigirá sua transcrição para o papel, e pode trazer, ainda, desconforto para o entrevistado (Lüdke e André, 1986). Já o registro através de notas durante a entrevista, embora possa deixar de cobrir muitas coisas ditas, vai solicitar a atenção e o esforço do entrevistador para já se fazer uma seleção e interpretação das informações emitidas.

Para complementar os dados que se pretende, ou mesmo possibilitar uma primeira coleta de informações que podem ser utilizadas posteriormente em uma entrevista, os questionários se apresentam como ferramentas importantes para que possamos formar um conjunto de códigos textuais que nos possibilite constituir nossa fonte básica de informações, para nossas tentativas de responder nossas questões de pesquisa.

A seguir, apresentamos de modo geral as relações entre nossas questões de pesquisa e os instrumentos conduzidos para nossas tentativas de resposta àquelas.

4.6 Instrumentos de coleta

As fontes de informação utilizadas na condução de uma pesquisa qualitativa podem ser basicamente classificadas em *sujeito*, *espaço* e *documentos*. No caso de nossa pesquisa, fizemos observações do ambiente de interação entre professor e aluno (espaço), entrevistas com os professores (sujeito) e análise das produções escritas dos alunos (documentos).

Uma vez definidas nossas fontes, estabelecemos um conjunto de instrumentos de coleta basicamente composto por observações e registros dessas, de forma escrita e em áudio para posterior consulta, e questionários, para os alunos, e entrevista, para os professores, conforme discutimos na seção anterior. Esses instrumentos foram avaliados por colegas de profissão, que deram sugestões a respeito do entendimento produzido pelas perguntas feitas. Segundo Gil,

a finalidade desta prova, geralmente designada como pré-teste, é evidenciar possíveis falhas na redação do questionário, tais como: complexidade das questões, imprecisão na redação, desnecessidade das questões, constrangimentos ao informante, exaustão etc.” (2008, p. 134).

Esse retorno possibilitou alguns ajustes na redação das questões, apesar de termos constatado, conforme veremos na discussão dos resultados, que mesmo após esses ajustes houve um problema pontual de entendimento de uma questão.

Ao término dos trabalhos com a unidade de ensino proposta, os alunos responderam um questionário, apresentado no apêndice H. As questões ali propostas buscam sondar a percepção do aluno em relação aos aspectos da atividade científica trabalhados.

Nossos propósitos com cada questão ao aluno são explicitados no item 6.2, onde apresentamos o retorno dos alunos, ou seja, suas respostas às essas questões, juntamente com algumas considerações a respeito.

Apresentamos no quadro 1 uma associação entre as questões de pesquisa e as fontes de dados que objetivam servir de base para sua

resposta. Naturalmente, existem sobreposições de propósitos entre as questões aos alunos e professores, no sentido de que as respostas às questões de pesquisa podem ser construídas a partir de mais de uma questão específica àquelas.

Quadro 1 - Relação entre os instrumentos de coleta e as questões de pesquisa.

Questões de pesquisa	Sujeito	Espaço	Documento
1. Qual a recepção geral, por parte dos professores e alunos, de um material didático que trata da Natureza da Ciência baseado na visão de Lakatos, mediante uma abordagem da Gravitação, em conformidade com resultados de pesquisas em Educação em Ciências?	<p>Perguntas realizadas aos professores, por meio de entrevista:</p> <p>4. Em relação à unidade de ensino proposta, como você avalia sua estrutura?</p> <p>7. Quais elementos você mudaria nesta proposta?</p> <p>8. Se materiais com esse, utilizado na unidade de ensino proposta, fossem mais acessíveis, em livros e sites, por exemplo, você acha que os usaria mais frequentemente em sua prática? Comente.</p>	Observação do ambiente de interação entre professor e alunos.	<p>Produção textual dos alunos (questionário de recepção):</p> <p>1. O que você achou das aulas sobre a Natureza da Ciência e a Gravitação? Comente.</p> <p>2. O que você achou do material didático? (Textos e apresentações eletrônicas)</p> <p>4. Você gostaria que esse tipo de discussão que fizemos estivesse presente também em outros conteúdos de Física? Por quê?</p>
2. Qual a influência da utilização desse material na compreensão dos alunos sobre a Natureza da Ciência na visão de Lakatos?	<p>Pergunta realizada aos professores, por meio de entrevista:</p> <p>5. Em relação à unidade de ensino proposta, como você avalia sua eficácia? (Capacidade de mobilizar o interesse do aluno e capacidade de propiciar ao aluno os elementos básicos da Natureza da Ciência propostos).</p>	Observação do ambiente de interação entre professor e alunos.	Produção textual dos alunos (todas as questões do questionário avaliativo).
3. Que dificuldades foram apresentadas pelo professor ao implementar a unidade de ensino proposta?	<p>Perguntas realizadas aos professores, por meio de entrevista:</p> <p>6. Quais as dificuldades que você encontrou ao trabalhar</p>	Observação do ambiente de interação entre professor e alunos.	

	<p>com essa unidade de ensino?</p> <p>7. Quais elementos você mudaria nesta proposta? (Estrutura, textos, conceitos, referenciais, vídeos, dinâmica de apresentação, dinâmica de aula...)</p>		X
<p>4. Que dificuldades foram apresentadas pelos alunos ao longo da implementação da unidade de ensino proposta?</p>	X	<p>Observação do ambiente de interação entre professor e alunos.</p>	<p>Produção textual dos alunos (questionário de recepção):</p> <p>3. Que dificuldades você encontrou ao longo das aulas? (Teve algum ponto que você achou mais difícil? Por quê?).</p>

5. A Intervenção didática proposta

Discutiremos neste capítulo a respeito da intervenção didática, etapa fundamental para enfrentarmos nossas questões de pesquisa. Comentaremos a seguir sobre a produção do material didático implementado, e a estruturação e implementação das aulas.

5.1 Caracterização da produção do material didático

A unidade de ensino proposta, intitulada “Elementos da Natureza da Ciência em um Estudo sobre a Gravitação”, compõe-se de um conjunto de três textos e apresentações eletrônicas²², para ilustrar e subsidiar sua discussão. Ao final desse conjunto, há a indicação “para saber mais”, onde se apresentam algumas fontes ao aluno interessado em aprofundar os assuntos discutidos. A escolha do tema, a Gravitação, deu-se inicialmente em função de um crescente interesse nosso pelo tema, desde a graduação, ao constatar que a evolução dos conhecimentos associados a esse campo conceitual propiciou boa parte do desenvolvimento da física, desde a época de Newton até os dias atuais (Arthury, 2010). Isso se relaciona, ainda, com o ensino de física:

Apesar de sua relevância social, cultural e histórica, de sua relação com desenvolvimentos tecnológicos, como as tecnologias espaciais, que fazem parte do funcionamento da nossa sociedade, a gravitação não vem sendo trabalhada no ensino médio, o que descaracteriza a própria mecânica newtoniana, uma vez que este assunto constitui quase um terço do currículo de física nesse nível de ensino (Silva, 2002, p. 1).

Nossa proposta didática busca, assim, valorizar esse conteúdo nas aulas de Física do Ensino Médio, servindo como um complemento, no mínimo, ao conteúdo de Gravitação presente nos livros didáticos, que não costumam permitir ao aluno maiores reflexões a respeito da importância histórica desse episódio, e também sobre aspectos da própria atividade científica. De modo geral, a Gravitação Universal, nos livros didáticos:

²² Os textos e apresentações eletrônicas, como foram apresentados aos alunos, estão disponíveis em <http://luisarthury.wix.com/isaque-alberto>.

1) Apresenta[m] o conteúdo em algo em si, ou seja, destacado da realidade do mundo; 2) Desenvolve[m] a atividade escolar como uma atividade fechada que se dá como um fim em si, e não como um meio inserido numa totalidade maior; 3) Transmite[m] interpretações pré-estabelecidas acerca da realidade, tornando-a a-histórica; 4) Fornece[m] pacotes de conteúdo, isolados entre si, numa sequência mecânica que supõe a acumulação simples do conhecimento (Nogueira, Dias e Junior, 2009, p. 9).

Com vista a propiciar aos alunos os elementos pretendidos da Natureza da Ciência, por meio do importante contexto da Gravitação, elaboramos então nosso material, com cuidados que transcendem a simples exposição de seus conteúdos, como discutimos na sequência.

Para a elaboração das apresentações eletrônicas, além de elementos dos textos produzidos e imagens correlatas, foram adaptados trechos de filmes e documentários devidamente editados, para seu uso na apresentação. Utilizou-se trechos do documentário da BBC, *The Story Of Science* (Mosley, 2010), episódio 1, sobre a evolução dos conceitos da cosmologia, do documentário *COSMOS*, episódio 3 (MacFarlane, 2014), da PBS – NOVA, *The Elegant Universe* (Greene, 2003), sobre a Teoria de Cordas (tema não presente no material desta pesquisa, mas que contém ilustrações bastante didáticas de elementos da gravidade), e do filme “Einstein and Eddington” (Martin, 2008), sobre o contexto do teste da Relatividade Geral.

O material foi produzido atentando às características de um material significativo conforme apontamentos de Gowin, discutidos na seção 3.3. Para construirmos esse conjunto de textos, preocupamo-nos com algumas escolhas didáticas e de contingência, ou seja, de que modo poderíamos redigir uma sequência didática que fosse adequada ao nível de escolaridade do aluno, que permitisse abordarmos os conteúdos pretendidos de modo o mais próximo possível dele. Escolhemos então uma narrativa que, embora adequadamente fundamentada (o *critério de excelência*, de Gowin), fosse suficientemente fluida ao aluno, sem maiores preocupações em relação a citações de autores e transcrições que pudessem prejudicar seu ritmo de leitura. Nossos propósitos com essa unidade de ensino são genuinamente voltados à facilitação do trabalho com esse assunto (a Natureza da Ciência) pouco familiar neste nível de escolaridade, e pensamos que os materiais produzidos para esse fim devam ter antes uma preocupação de atingir realmente o aluno, do que

propriamente se constituir como (mais) um compêndio acadêmico para (mais) um conjunto de conhecimentos que os alunos devem apreender. Por exemplo,

[...] os trabalhos produzidos pelo historiador da ciência poderiam ser úteis para discutir diferentes aspectos da NDC, vinculados ao recorte estabelecido em cada trabalho. Porém, a textualização, os pré-requisitos conceituais de campos normalmente envolvidos e o aprofundamento dado aos objetos históricos tornam os *trabalhos históricos especializados inadequados* ao Ensino Médio. Em geral, tais trabalhos requerem pré-requisitos para serem compreendidos que os alunos da escola básica não possuem. Além disso, a didatização do saber não se limita a torná-lo compreensível, mas volta-se também aos aspectos motivacionais de modo a contribuir para o engajamento dos alunos nos processos de aprendizagem, levando em conta as metodologias educacionais adequadas e coerentes com as concepções de ciência, de seus processos de construção e de ensino (Forato, Pietrocola e Martins, 2011, p. 48).

Procuramos, como parte do critério de excelência (as funções já discutidas para um material significativo, na seção 3.3), contemplar também outros cuidados correlatos, específicos ao contexto do ensino da Natureza da Ciência, apontados por Forato, Pietrocola e Martins (2011, p. 43), das quais destacamos:

- i. Cuidado com a *seleção do conteúdo histórico*, a escolha adequada de episódios que permitam o trabalho didático pretendido, ou seja, que satisfaça os propósitos pedagógicos e epistemológicos. Entendemos que os episódios escolhidos, referentes à Gravitação, constituem momentos de grande relevância para as discussões pretendidas, até mesmo porque parte da própria argumentação engendrada pelos epistemólogos trabalhados se dá nesse contexto da história da física;

- ii. Cuidado com o *tempo didático*, que é o tempo efetivamente disponível na escola para se trabalhar os conteúdos pretendidos. Pode-se supor que um professor de física ou química ou biologia tenha adquirido suficiente maturidade profissional para realizar uma boa estimativa sobre o tempo necessário para tratar um conceito da ciência em suas aulas. Entretanto, estamos diante de conteúdos de natureza distinta quando pensamos em inserir conhecimentos **sobre** a ciência, em uma perspectiva que busque contemplar requisitos didáticos e historiográficos. A característica multidisciplinar da HC a torna complexa por si só, e viabilizá-la em ambiente real de sala de aula não é trivial, ainda mais quando o propósito pedagógico envolve a aprendizagem de aspectos epistemológicos da ciência (Forato, Pietrocola e Martins, 2011, p. 45). Deste modo, ao construirmos os textos, tentamos antever sua condução concreta em sala de aula, de modo a constituir uma proposta consciente de trabalho – por parte dos alunos e do professor;

- iii. Cuidado com a *simplificação e a omissão*, posto que são inevitáveis em qualquer proposta didática ao mesmo tempo em que são fatores que determinam a “versão” da história e da Natureza da Ciência que será discutida com os alunos. Como é algo que não pode ser evitado, então devemos ter o discernimento do que trazer e do que não trazer aos alunos, para que não incorramos nós mesmos nas visões inadequadas que pretendemos atacar. Ainda, o que escolhemos trazer aos alunos certamente será uma discussão simplificada em relação ao corpo de argumentações originais deste ou daquele epistemólogo, do que vale as considerações feitas na seção 1.2, relativas a críticas em relação à inclusão da história da ciência no ensino de ciência, que apontam que toda história, por ser uma simplificação, seria uma história de má qualidade. Ou seja, não podemos confundir *simplificação* com *distorção* (embora isso certamente seja um grande desafio). Uma coisa é dizermos que a Terra é uma esfera... outra é dizermos que é um cubo, para lembrar de um pensamento de Isaac Asimov (1991). Apesar disso, precisamos de sobriedade para aceitar que toda história contada por nós terá um viés, e será limitada em algum nível. Tomarmos ciência dessa limitação é

imprescindível para minimizarmos os problemas decorrentes da omissão deliberada de episódios. Veja, por exemplo, a maioria dos relatos sobre o episódio de Galileu e a recusa dos seus contemporâneos em olharem pelo telescópio. A problemática da intermediação de instrumentos para o estudo do mundo natural era um problema pertinente aos homens daquele período. A concepção em geral propagada é que os homens apenas se recusavam a olhar pelo telescópio para não admitir as mudanças no mundo supra lunar. O resultado dessa omissão pode se configurar numa visão simplista, superficial e equivocada de um episódio tão rico da história da ciência (Forato, Pietrocola e Martins, 2011, p. 46).

- iv. Finalmente, devemos ter em conta a possível (ou mesmo provável) *falta de formação específica do professor*, que deve servir de alerta para o modo como propomos que a unidade de ensino seja trabalhada. Essa unidade precisa garantir uma certa autossuficiência nesse sentido, ou seja, deve permitir ao professor gerenciar o andamento das atividades, sem que uma possível insuficiência de conhecimentos específicos sobre a Natureza da Ciência prejudique significativamente toda a proposta. Naturalmente, para se minimizar estes problemas, é imprescindível que o professor participe de atividades de preparação que, no nosso presente caso, consistem em promover previamente a discussão de um texto de suporte, que se constitui no segundo capítulo de nosso trabalho, além da discussão de cada um dos textos da unidade de ensino, juntamente com o repasse de cada slide das apresentações eletrônicas. Esta preparação, além de otimizar a implementação do material educativo, acaba por se constituir como uma atividade de formação continuada, e parte de nossos propósitos com essa pesquisa é justamente estabelecer alguns facilitadores nesse sentido.

Mesmo considerando que não se pretende transformar o professor em historiador ou epistemólogo da ciência, é possível desenvolver ações que busquem fornecer-lhe elementos para lidar com os desafios dos usos da HFC em

ambiente escolar, principalmente durante sua formação inicial e em projetos de extensão voltados à formação continuada de professores em serviço (Forato, Pietrocola e Martins, 2011, p. 49)

Os textos e apresentações constituem três²³ momentos didáticos (um texto e uma apresentação para cada momento), que consideramos como episódios centrais para as discussões pretendidas. O primeiro momento, “*Um despertar na Grécia*”, faz uma contextualização dos temas a serem discutidos, com uma ênfase no contexto da antiga Grécia em relação às tentativas de se compreender o cosmos. Nosso objetivo foi apresentar alguns conceitos importantes para as discussões posteriores, como as hipóteses *ad-hoc* e a sugestão do papel hipotético das teorias científicas. Ainda, as discussões a respeito dos dois sistemas, geocêntrico e heliocêntrico, formam a base para os desenvolvimentos posteriores, utilizados como área temática para as discussões sobre a Natureza da Ciência.

Não foi nosso propósito aprofundar as questões cinemáticas relacionadas às diferentes tentativas de se explicar, por exemplo, o movimento retrógrado dos planetas, mas sim tratar de forma geral algumas concepções mais relevantes. Ou seja, comentamos sobre as tentativas de se explicar esse referido movimento a partir dos epiciclos, mas julgamos que não seria conveniente, frente aos nossos propósitos mais gerais, adentrarmos nos detalhes envolvendo *deferentes* e *equantes*, por exemplo. Após essas primeiras discussões envolvendo as tentativas de se defender um ou outro sistema, o segundo momento didático, “*A supremacia da gravidade*”, entra mais profundamente nos aspectos relacionados ao enfrentamento de qual teoria é supostamente melhor, ou seja, os procedimentos de escolha entre teorias rivais.

Nesse segundo momento didático, abordamos frontalmente os elementos da epistemologia de Lakatos, aproveitando o profícuo contexto do surgimento da Gravitação universal de Newton, momento para ricas discussões a respeito da força de uma teoria (força heurística) e elementos

²³ Na implementação piloto, havia ainda um quarto texto (ver apêndice J), onde aprofundavam-se alguns aspectos do teste da Gravitação einsteiniana e teciam-se alguns contrapontos ao racionalismo lakatosiano trabalhado nos textos anteriores. Os contrapontos foram em boa parte suprimidos, como resultado das avaliações e constatações com a implementação piloto, e as partes relevantes sobre o teste da Gravitação de Einstein foram incorporadas aos textos anteriores, reformulados a partir daquelas constatações.

de teste de hipóteses. No terceiro momento, “*A gravidade revisitada*”, essas questões são estendidas ao contexto da fase de regressão da Gravitação newtoniana e progressão da Gravitação einsteiniana, permitindo um aprofundamento dos assuntos referentes à Natureza da Ciência, conforme discutido no item 3.1.

Em todos esses momentos didáticos, pretendemos trazer importantes conceitos da Gravitação, contemplando elementos relativos aos conhecimentos desejáveis ao professor, segundo Shulman, como discutimos na seção 3.2. Contudo, não foi nosso propósito estruturar uma unidade de ensino que substitua esse tópico específico do currículo da disciplina de física no Ensino Médio. Assim, por exemplo, procuramos discutir as contribuições de Kepler ao tema, mas não propomos situações envolvendo suas três leis. Da mesma forma, detemo-nos em boa medida na Gravitação newtoniana, mas não propomos exercícios usando a equação da Gravitação universal presente nos livros didáticos. Devemos ratificar que nosso propósito é a discussão dos elementos da Natureza da Ciência pretendidos (seção 3.1), embora, naturalmente, os conceitos específicos da física sejam parte importante e indissociável dessa proposta. Deste modo, vemos nesta unidade de ensino um material sem vínculos obrigatórios com uma determinada etapa do currículo de física. Contudo, pensamos que sua implementação possa se somar à unidade de Gravitação, sendo que uma implementação anterior ao conteúdo desse tópico pode servir como uma excelente contextualização ao ensino dos elementos curriculares específicos, como as Leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal.

5.2 Uma implementação piloto

Uma primeira implementação do material foi realizada no Instituto Federal Catarinense – Campus Blumenau, entre os dias 24 de junho e 18 de agosto de 2014, com duas turmas do primeiro ano do Ensino Médio (Curso Técnico em Informática, integrado ao Ensino Médio). O professor colaborador da pesquisa foi o professor titular dessas duas turmas, que gentilmente se organizou ao longo do ano para incluir essa implementação em seu cronograma. O contato inicial se deu pessoalmente, seguido de encontros anteriores à implementação, para discussão dos procedimentos, juntamente com comunicações “on-line” sempre que necessário.

A escolha das turmas (primeiro ano) se deu em função da conveniência e compatibilidade de conteúdos prévios, juntamente com a previsão do cronograma da disciplina de física para o primeiro ano, que contempla o estudo da Gravitação. Para possíveis próximas implementações não se considera esse cronograma como indispensável, uma vez que o objetivo central é a discussão sobre a Natureza da Ciência, e por isso outras turmas, de segundos e terceiros anos, podem participar da implementação. O material produzido não possui pré-requisitos matemáticos, devido à sua intenção qualitativa histórico-filosófica, e sua implementação em outras turmas, e por outros professores, é totalmente factível e incentivada.

Para a análise desta implementação piloto, no geral preferimos comentar sobre ambas as turmas de forma conjunta, devido ao professor ser o mesmo e as turmas terem perfis semelhantes²⁴. Quando necessário, as duas turmas referidas serão indicadas neste trabalho por T1 e T2. Na T1 houve um total de 18 alunos participantes, 10 meninos e 8 meninas. Na T2, 16 alunos participantes, 7 meninos e 9 meninas. Sempre que nos referirmos especificamente a um aluno ou aluna, usaremos uma notação genérica, com referência à turma considerada, e um número de 1 ao total de alunos dessa. Assim, por exemplo, AT2-03 será o aluno número 3 da T2, e AT1-15 será o aluno número 15 da T1. Como, neste piloto, o professor colaborador foi o mesmo para ambas as turmas, não precisaremos de uma codificação para designá-lo.

Inicialmente comentaremos a respeito do andamento geral das aulas em ambas as turmas, já apontando algumas dificuldades encontradas e como o professor contornou algumas dessas. Na sequência iremos relatar o retorno obtido com o questionário para os alunos. Essas informações, juntamente com o retorno com o professor, por meio de questionário e entrevista, comporão a base de dados para tecermos algumas constatações preliminares, na seção 5.2.3.

5.2.1 As aulas

Após a apresentação da proposta da unidade a ser trabalhada, o professor, segundo planejamento previsto (apêndice I), realizou uma conversa inicial sobre as impressões iniciais dos alunos a respeito da

²⁴ Turmas do mesmo ensino técnico em informática, integrado ao Ensino Médio, na mesma fase escolar e com número próximo de alunos e distribuição entre os gêneros.

atividade científica, mantendo-se o mais neutro possível para apenas induzir a participação dos alunos, mas não suas colocações. Algumas ideias centrais dos alunos foram sendo colocadas no quadro, para se chegar a uma síntese representativa da visão da turma em relação à definição de ciência, ou seja, algumas frases que fossem de comum acordo com a maior parte da turma. Em princípio era previsto que o professor conduzisse a turma a uma definição (ou definições) de ciência e também a algumas características de sua atividade, ou seja, o que é e como opera a ciência. Mas a ênfase dada pelo professor foi na definição de ciência, conforme quadro 2.

Quadro 2 – Percepção inicial dos alunos, antes das discussões da unidade de ensino.

	T1	T2
Algumas definições de ciência ou elementos desta, apontadas pelos alunos.	<ul style="list-style-type: none"> - A busca de como o universo funciona. - Teorias provadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - O conhecimento que analisa o cotidiano. - Conjunto de conhecimentos que podem ser provados. - Estudo da tecnologia.

Apesar de ocultar detalhes importantes concernentes aos conhecimentos prévios dos alunos a respeito do funcionamento da ciência, esta atividade evidenciou alguns conceitos de senso comum a respeito da ciência, como a noção de prova, e também sua relação com a tecnologia. Uma característica importante (e não prevista) dessas turmas foi o fato de estarem cursando uma disciplina de metodologia científica, o que se tornou um complicador para os resultados dessa intervenção. Por outro lado, como o próprio professor da disciplina de física enfatizou, essa disciplina de metodologia não tem um propósito direto de se discutir a Natureza da Ciência, e sim sobre os procedimentos tidos como padrão do “método científico”. Ao longo e ao final de nossa análise discutiremos mais sobre os problemas comuns existentes hoje no ensino em relação a um suposto “método científico”, e sobre as diferenças entre seguir os tratados de metodologia ensinados na escola e o que o cientista faz.

O professor comentou que no início os alunos achavam que era para responder à indagação “o que é ciência” de forma a buscar o que já

tinham discutido na disciplina de metodologia, mas cedo perceberam, com a contribuição do professor, que não era o caso, e que suas visões pessoais eram o que mais importava. Em relação à T2, o professor comentou que isso chegou a representar uma perturbação no contrato didático, uma vez que os alunos não perceberam de imediato que o que se buscava era o que eles pensavam a respeito, e não necessariamente o que eles lembravam da referida disciplina.

Ao segundo encontro, após a leitura do primeiro texto, “Um despertar na Grécia”, as discussões propriamente ditas sobre os conteúdos trabalhados foram acontecendo progressivamente, com boa participação dos alunos. Esses mostraram grande interesse com os epiciclos, como recurso de explicação para os movimentos retrógrados. Tiveram dúvidas a respeito desse movimento, que foram devidamente esclarecidas com a retomada das apresentações a respeito. Comentando sobre a T1, o professor citou que, interessantemente, “*os alunos tendem a cair em anacronismo, usando o termo gravidade para explicar o modelo geocêntrico!*”. Já em relação à T2, o professor citou que os alunos tiveram dificuldade em entender o conceito “ad-hoc”. Não ficou certo, ao menos nessa aula, se esse conceito ficou devidamente apreendido, mesmo retomando os exemplos do texto. Ainda em relação a essa turma, os alunos questionaram (com propriedade) como Aristarco chegou à ideia de o Sol no centro, “naquela época”.

Nas discussões com o segundo texto, “A supremacia da Gravidade”, a T1 foi um pouco “suplantada” por alguns alunos que se destacaram. A T2 foi mais participativa, e o professor comenta que a participação foi maior do que com primeiro texto, e que o segundo texto fez os alunos perguntarem sobre muitas trechos. Na T2 alguns alunos perguntaram sobre como a Gravitação newtoniana implica matematicamente nas órbitas elípticas, lembrando inclusive que isso foi um argumento forte para se abandonar o geocentrismo, e o professor questionou sobre a possibilidade de uma “prova teórica”, ainda que qualitativa, no Ensino Médio.

O professor comentou que ainda restavam, nessa aula, dúvidas a respeito do termo “ad-hoc”, e que alguns alunos ainda não pareciam estar “*acostumados com uma abordagem mais reflexiva em uma aula*”. O professor comentou que, na T1, houve bastante participação na discussão do segundo texto, principalmente das meninas. E essa participação, com as discussões, acabaram resultando em falta de tempo para avançar. Ainda sobre essa turma, o professor comentou que os alunos tiveram dificuldades com uma “física que explica o heliocentrismo”, uma vez que não estudaram nada parecido antes. Em relação ao texto 2, o professor

apontou que há muitas questões, e que não houve tempo para a discussão de todas. Isso contribuiu para que revíssemos essa quantidade, para as implementações definitivas.

A deflexão da luz foi bem compreendida pelos alunos, o que é muito importante para a compreensão do teste da Gravitação einsteiniana, com o eclipse total. O princípio da equivalência foi menos compreendido, e o professor perspicazmente lembrou, com as turmas, de exemplos com filmes de ficção científica, sobre a simulação da gravidade em naves.

O professor comentou que o terceiro texto, “A Gravidade revisitada”, foi o que produziu o maior interesse pelos alunos, já sugerindo que, em parte, pelo assunto tratado, uma vez que traz os conceitos básicos da Gravitação einsteiniana. O professor destacou como um trecho pequeno do texto, que fala sobre outras previsões da relatividade de Einstein, como buracos negros e lentes gravitacionais, foi foco de muito interesse, ao ponto de o professor passar o restante da aula em cima desses assuntos.

Um ponto importante destacado pelo professor foi a dificuldade com a noção de dispersão dos dados obtidos pelas expedições durante os eclipses. O professor lembra que o texto cita sobre essas dispersões, mas não traz qualquer explicação adicional, sendo que os alunos não sabiam o que era uma “dispersão de dados”. O professor contornou a situação falando sobre o conceito. Adicionamos um trecho no texto final sobre isso.

Ao término da unidade de ensino, o professor constatou, junto aos alunos, que o primeiro texto podia ser mais “direto”, sucinto, ao mesmo tempo que deveria se deter mais em Aristarco. A maioria dos alunos achou o terceiro texto o melhor do conjunto, achando a narrativa mais “empolgante”. Consideramos isso um sinal do interesse dos alunos pela física moderna, o que é uma oportunidade a ser mais bem explorada para se falar também sobre a Natureza da Ciência. Os alunos gostaram de saber que o Brasil esteve envolvido no teste da Relatividade Geral, e lembraram que o texto é bem ilustrado.

Um ponto bastante relevante que exigiu nossa atenção: segundo o professor, “*é bom e ruim que o [quarto] texto levanta dúvidas sobre a confiança na ciência*”. Apesar de assumirmos esse risco ao trazer algumas ideias de Feyerabend, pretendemos ser enfáticos, ao término do quarto texto, a respeito do poder da ciência, como sendo nossa melhor ferramenta para se entender o mundo. Como mencionamos, repensamos essa estratégia e adaptamos o assunto presente no quarto texto para compor os três anteriores, excluindo a necessidade desse quarto texto.

Mas consideramos interessante a colocação do professor sobre essa desconfiança ser “bom e ruim”. Inicialmente temos uma posição semelhante, mas certamente não é nossa intenção trazer uma imagem da ciência às avessas, ou seja, a de que a ciência seria um conjunto de apostas e disputas de meras opiniões.

Particularmente importante é a constatação do professor de que *“ninguém sabia que Einstein substituiu Newton”* (no contexto da Gravitação). Os alunos gostaram bastante de discutir sobre a Gravitação de Einstein, mas o professor enfatizou que achou o começo da explicação sobre esse tema um pouco confuso, embora na apresentação, com o auxílio dos slides, isso tenha sido contornado.

Em função das discussões realizadas, que tomaram um tempo maior que o previsto, e pelas limitações do cronograma da instituição, a atividade que previa a construção de uma linha do tempo pelos alunos, com a participação do professor de história para contextualizar cada momento visto na unidade de ensino, não pode ser realizada. Verificamos que esse tipo de atividade necessitaria de um tempo didático que, infelizmente, não dispusemos para a implementação da pesquisa.

5.2.2 O retorno dos alunos

Ao término da unidade de ensino, os alunos responderam a um questionário (apêndice L) que versava tanto sobre alguns aspectos conceituais do assunto tratado (Gravitação), como sobre aspectos da Natureza da Ciência (o foco da atividade). Esclarecemos que, embora a primeira questão tenha sido elaborada com as opções “verdadeiro ou falso”, isso não foi considerado como resultado definitivo do entendimento do aluno em relação à afirmação feita, sendo apenas um incentivo para que o aluno se posicionasse a respeito. Suas considerações, portanto, é que foram analisadas, e para a implementação final essa questão foi repensada, para não “induzir” uma posição concernente a verdadeiro ou falso. Apresentamos algumas sugestões a esse respeito na seção 5.2.3.

O que observamos, em relação a essa primeira questão, é que houve um misto de “verdadeiros” e “falsos”, para uma mesma afirmação, e que as justificativas, algumas vezes, não condiziam com a resposta inicial. Por isso passamos a nos concentrar nessas justificativas, procurando significados para as posições dos alunos. Ao lermos todas as respostas, fizemos então uma categorização para o nível de indício de aprendizagem esperada em relação às intenções de cada questão. Assim,

usaremos o termo *indício forte* para as respostas que sugerem uma boa concordância do aluno em relação aos objetivos de cada questão, *indício moderado* para as que sugerem uma concordância em parte, *Respostas inconclusivas* para as respostas que não permitem extrair um significado adequado, e *Indício fraco* para as que sugerem uma posição não condizente ou oposta aos objetivos pretendidos.

Devido ao fato de que nem todos os alunos participaram dessa atividade (alguns ficaram “devendo” esse trabalho para o professor, combinando entregar em outro momento), e que alguns foram muito concisos em suas respostas, não permitindo que extraíssemos um significado adequado dessas, nossa amostra foi constituída por 26 trabalhos. Neste grupo de questionários, algumas respostas também não puderam ser satisfatoriamente categorizadas, mas se mantemos o questionário desse referido aluno na análise é porque, no conjunto, mostrou-se passível de análise.

Apresentamos na tabela 1 os resultados gerais para todas as questões do questionário. A seguir, transcreveremos algumas respostas do alunos, ilustrativas de cada categorização realizada.

Tabela 1 – Resultados gerais a partir da categorização realizada para as respostas dos alunos ao questionário – implementação piloto.

	Indício fraco	Respostas inconclusivas	Indício moderado	Indício forte
Questão 1 – a) Os antigos gregos se destacaram na história por suas tentativas de explicar a natureza sem recorrer à mitologia, o que ocasionou teorias corretas para os fenômenos.	1	10	9	6
Questão 1 – b) Experimentos servem para provar uma teoria.	3	1	14	8
Questão 1 – c) O movimento dos planetas em torno do Sol é um círculo perfeito.	0	2	7	17
Questão 1 – d) O sistema geocêntrico foi abandonado porque não conseguia explicar nenhum dos fenômenos observados, como o movimento retrógrado e o movimento diário do Sol e da Lua.	0	4	13	9
Questão 1 – e) Copérnico foi o primeiro pensador conhecido na história a defender que a Terra não era o centro do universo.	2	1	16	7
Questão 2 O texto abaixo contém muitas afirmativas inadequadas. Localize-as e justifique.	1	3	14	8

Os fenômenos naturais só podem ser explicados por uma única teoria. E esta teoria, uma vez provada, passa a ser imediatamente aceita como a explicação correta. Depois que uma teoria é provada, não é mais possível voltar atrás, ou seja, ela passa a ser uma lei inquestionável. Se não fosse assim, tudo o que aprendemos e descobrimos poderia ser rapidamente abandonado, e não existiria um conhecimento mais seguro que outro.

Questão 3

Cite ao menos um elemento que pode decidir entre duas teorias rivais. Este elemento garante a escolha pela teoria mais correta? Justifique.

0 8 11 7

Questão 4

Cite ao menos uma demonstração de força heurística da Gravitação de Newton e da Gravitação de Einstein.

0 2 9 15

Questão 5

Vimos que a atividade científica guarda diferentes elementos, e que podem ser vistos de maneira diferente, por diferentes pessoas. Para você, quais elementos uma teoria deve ter para ser considerada a melhor?

2 3 14 7

A primeira questão objetivava levar o aluno a se manifestar em relação a algumas afirmações concernentes aos assuntos discutidos em sala. No primeiro item, nosso propósito foi levar o aluno a pensar sobre as contribuições dos antigos gregos citados no material, que estavam começando a buscar explicações para os fenômenos que não fossem baseadas nas vicissitudes mitológicas, como era comum à época. O objetivo foi perceber se o aluno identifica a noção de que abandonar a mitologia e buscar explicações “lógicas”, por si só, não é garantia para termos teorias “corretas” para os fenômenos, até mesmo porque o termo “correto” não é adequado frente às concepções mais consensuais a respeito da Natureza da Ciência. Lembramos que entendemos por “teorias melhores” aquelas que produzem melhores resultados heurísticos, o que só de modo subjetivo poderia ser denotado por “mais corretas”.

Então, à afirmação “os antigos gregos se destacaram na história por suas tentativas de explicar a natureza sem recorrer à mitologia, o que ocasionou teorias corretas para os fenômenos”, embora tenhamos um bom número de justificativas procedentes, tivemos algumas respostas pouco esclarecedoras, que indicamos pela categoria *Respostas inconclusivas*, uma vez que deixavam transparecer posições incoerentes ou muito pobres em significado. Apresentamos na tabela 2 algumas respostas dos alunos, representativas de cada categoria escolhida. Por preferirmos transcrever

essas respostas, naturalmente mantivemos qualquer possível problema relacionado à construção textual do aluno.

Tabela 2 – Exemplos de respostas dos alunos à primeira afirmativa da primeira questão.

Indício fraco	Comentários
<p>AT2-02 <i>Os gregos tentaram buscar explicações para os fenômenos da natureza sem depender dos deuses. [Isso] ocasionou uma série de discussões e algumas teorias (como a dos átomos, sistema solar, tec.) puderam ser consideradas corretas.</i></p>	<p>Esse aluno sugere que, ao abandonar o pensamento mitológico, algumas teorias foram consideradas corretas.</p>
Respostas inconclusivas	Comentários
<p>AT2-07 <i>O texto mostra que alguns pensadores gregos tentaram buscar explicar fenômenos naturais sem que dependesse dos deuses.</i></p> <p>AT1-01 <i>Os antigos gregos recorriam aos deuses da mitologia para explicar a natureza.</i></p>	<p>Esse aluno apenas indica a superação do pensamento mitológico, não oferecendo nenhuma informação adicional.</p> <p>Idem (esse foi o caso mais freqüente de Respostas inconclusivas, uma vez que esse tipo de afirmação não possibilita uma análise em relação às teorias produzidas).</p>
Indício Moderado	Comentários
<p>AT1-14 <i>Os gregos queriam achar respostas sobre os fenômenos naturais sem recorrer ao pensamento da vontade dos deuses, porém, mesmo tendo várias teorias relativamente coerentes, não conseguiram provas suficientemente fortes e convincentes para terem mais adeptos as suas teorias, sendo assim, superados pela teoria do geocentrismo.</i></p> <p>AT2-09 <i>De certo modo os gregos abandonaram o conceito mitológico, para tentar achar uma explicação mais “lógica”, alguns dos gregos até acertaram em alguns dos pontos (Heráclides, dizendo que a Terra girava em seu próprio eixo; Aristarco com a ideia de que a Terra girava em torno do Sol), mas por mais que alguns estivessem corretos, a teoria geocêntrica prevaleceu entre os gregos daquela época.</i></p>	<p>Bom índice de concordância com os objetivos da questão, sugerindo que, apesar da coerência de muitas teorias, os gregos não conseguiam provas suficientes e convincentes. Só não consideramos como índice forte, devido ao termo “provas suficientemente fortes”. Dependendo do significado que se dê a essa expressão, esta resposta pode indicar um índice forte de concordância.</p> <p>Apesar da boa concordância, existe aqui uma insistência com teorias corretas, de modo anacrônico (somente em retrospectiva sabemos que Aristarco estava mais certo que Ptolomeu, por exemplo). Esse anacronismo dificulta uma categorização mais contundente, indicando ainda que o objetivo com a questão deva ser mais bem explicitado, com questões mais bem formuladas.</p>
Indício Forte	Comentários
<p>AT2-08 <i>É correto afirmarmos que foi na Grécia que alguns pensadores tentaram buscar explicações para os fenômenos sem envolver os deuses, entretanto não podemos nos referir às teorias como totalmente verdadeiras, o mais correto a se afirmar é que foram os antigos gregos que começaram a desenvolver respostas racionais para os fatos, o que desencadeou em inúmeras discussões que</i></p>	<p>Indicação de uma boa percepção em relação à insuficiência de se pensar “racionalmente” (diríamos que é uma condição necessária mas não suficiente) para se obter teorias mais corretas. O aluno termina com o termo “teorias mais aceitas”, o que sugere uma questão distinta do estar ou não correta, o que consideramos positivo frente à noção</p>

<p><i>duraram milhares de anos e que geraram as teorias mais aceitas nos dias atuais.</i></p> <p>AT2-06</p> <p><i>Os gregos realmente não recorriam à mitologia, o que levam a serem considerados os primeiros cientistas, porém, suas teorias não são corretas. Um exemplo é a teoria geocêntrica, que coloca a Terra no centro do universo, o que hoje sabemos que o Sol é quem está lá.</i></p>	<p>de que teorias são aceitas porque são corretas, provadas.</p> <p>O aluno demonstra um conhecimento equivocado a respeito do Sol estar no centro do universo. Mas apesar desse erro (talvez ele pudesse estar pensando no centro do sistema?), a noção de que os gregos não necessariamente produziam teorias mais corretas por prescindirem da mitologia, foi colocada de forma adequada. Esse aluno cita o sistema geocêntrico como exemplo, e esperávamos mais esse tipo de resposta de outros alunos, inclusive com esse exemplo. Mas dependendo do peso atribuído às suas afirmações, essa resposta pode ser categorizada de modo diferente (como sempre é o caso, naturalmente. É sempre bom lembrar que estes resultados constituem, conforme Moraes (1999, p. 9), “[...] uma interpretação pessoal por parte do pesquisador com relação à percepção que tem dos dados. Não é possível uma leitura neutra”.</p>
--	--

A segunda afirmativa dessa primeira questão, “experimentos servem para provar uma teoria”, objetivava levar o aluno a questionar o papel da experimentação na pesquisa científica. Consideramos que não existe uma resposta correta peremptória a essa questão, mas a mesma possibilita que identifiquemos indícios ou de uma imagem inadequada de ciência que funciona com provas experimentais, que experimentos provam categoricamente uma teoria, ou significados mais consonantes ao que pretendemos, como a noção de que experimentos servem para testar hipóteses prévias dos cientistas, e que resultados positivos não implicam em prova, e sim em corroboração, reforço para a teoria ou hipótese testada. Ainda, pretendemos a possibilidade de que o aluno consiga mobilizar o que foi discutido no sentido de se manifestar em relação à experimentação como algo que faz parte da estruturação de teorias, para além do teste categórico em relação às suas previsões. Apresentamos algumas respostas a essa questão na tabela 3.

Tabela 3 - Exemplares de respostas dos alunos à segunda afirmativa da primeira questão.

Índicio fraco	Comentários
<p>AT2-06</p> <p><i>Os experimentos servem para provar uma teoria. Há experimentos muito caros para uma teoria ser</i></p>	<p>Resposta muito positiva em relação à afirmação. Dá a entender que esse aluno considera realmente que</p>

<p><i>provada como também ser posta como falsa. Até hoje, muitos cientistas tem como objetivo falsear alguma teoria muito conhecida (ou importante) para a humanidade.</i></p> <p>AT1-10 <i>Para se provar uma teoria ela precisa de vários testes experimentais.</i></p>	<p>experimentos ou provam ou refutam teorias, de modo muito categórico.</p> <p>Sugere que, ao passar pelos diversos testes, a teoria passa a ser provada.</p>
Respostas inconclusivas	Comentários
<p>AT1-14 <i>Através de experimentos pode-se obter através do resultado a prova de que a teoria é válida ou não, ou seja, como o próprio texto diz experimentos corroboram teorias.</i></p>	<p>Resposta pouco clara, com indícios confusos em relação à “validez” da teoria, e com menção à corroboração sem mais informações passíveis de análise. Contudo, existe a possibilidade de o aluno pretender se referir ao experimento como recurso de teste, uma vez que coloca que o resultado “prova” se a teoria é válida (portanto não prova a teoria). Mas preferimos não definir esse significado à sua construção textual.</p>
Indício Moderado	Comentários
<p>AT2-04 <i>Não é possível provar uma teoria. Muitas vezes os experimentos são feitos na tentativa de falseá-la, caso as propostas não coincidam com o resultado dos experimentos a teoria sofrerá abalos, o que não significa que será motivo para abandoná-la imediatamente, outro caso a tentativa de falsear torna-se uma corroboração, que vem a ser o termo correto para substituir “prova”.</i></p> <p>AT1-15 <i>[...] Não existe um método para ter certeza, mais essa teoria é usada, porque até o momento não houve contradições para que ela não fosse uma teoria boa, mas também não possuem a certeza que ela esteja totalmente correta, pois em qualquer momento pode existir outra teoria que comprove algo desconhecido até o momento, fazendo com que essa teoria fique abandonada.</i></p>	<p>Apesar da boa concordância em relação à impossibilidade de prova, esse aluno parece confundir alguns termos. Não podemos saber ao certo suas intenções ao apontar a substituição de prova por corroboração, até que ponto isso é uma questão lingüística ou de intenção clara de sugerir que teorias não são provadas, e sim corroboradas, confirmadas. Consideramos bastante positivo sua colocação de que, mesmo se teorias não são confirmadas, isso não gera seu abandono imediato.</p> <p>Esse aluno sugere uma compreensão consonante com os elementos da epistemologia de Lakatos discutidos, apesar de trazer a possibilidade de que a teoria degenerada seja abandonada. Podemos ver aqui ou uma visão inadequada de que teorias são definitivamente abandonadas quando existe uma progressão com outra teoria, ou que as teorias degeneradas são metodologicamente colocadas em segundo plano, o que estaria mais adequado com o discutido. No geral, consideramos a resposta do aluno coerente com o discutido, apesar de não ser claro em relação ao papel do experimento.</p>
Indício Forte	Comentários
<p>AT1-11 <i>Não há como provar uma teoria, já que a qualquer momento pode aparecer algo que negue a teoria, então um experimento corrobora a teoria.</i></p> <p>AT1-12 <i>[Experimentos] não servem para provar teorias, e sim para deixá-las mais forte.</i></p> <p>AT1-13</p>	<p>Embora sucinto, consideramos que essa resposta apresenta uma boa concordância com o objetivo da questão.</p> <p>Mesmo sem usar o termo, consideramos um bom indício de que o aluno entende o que é uma corroboração, e seu papel no reforço da teoria.</p>

<p><i>Uma teoria nunca poderá ser provada como certa, na ciência nada é certo, somente aproximadamente certo, ou, é julgado “certo”, ou melhor aceito, até que não apareça outra teoria para ocupar o seu espaço. Experimentos servem para corroborar uma teoria, tentar salva-la de morrer, ou melhor dizendo, tentar fazer com que ela seja a mais aceita, e que não seja substituída por uma “melhor”, ou, com mais corroborações a favor.</i></p>	<p>Mais um exemplo de boa concordância com os elementos da epistemologia de Lakatos, com a clara resposta do papel do experimento como recurso de teste frente a outra teoria.</p>
---	--

A terceira afirmativa da primeira questão, “o movimento dos planetas em torno do Sol é um círculo perfeito”, objetivava apenas identificar a ocorrência de um dos conceitos a serem apreendidos pelo aluno, no caso a trajetória elíptica dos planetas identificada primeiramente por Kepler. Por ser um conceito mais direto no texto, e bastante discutido nas aulas, não tivemos surpresa ao constatar que não houve indícios negativos em relação a essa questão, embora algumas respostas não sejam claras, como apresentado na tabela 4.

Tabela 4 - Exemplos de respostas dos alunos à terceira afirmativa da primeira questão.

Indício fraco	Comentários
<p>Não houve.</p>	<p>Ou seja, nenhum aluno classificou as órbitas como perfeitamente circulares, mesmo após as discussões sobre os dois sistemas (geocêntrico e heliocêntrico), onde o termo círculo perfeito aparece algumas vezes.</p>
Respostas inconclusivas	Comentários
<p>AT1-14 <i>As teorias mostraram que há variações dos movimentos retrógrados dos planetas. Sendo assim não se pode dizer que o movimento é um círculo perfeito.</i></p>	<p>Resposta pouco clara. Podemos interpretar que o aluno entende que as variações nos movimentos retrógrados dos planetas indicariam órbitas que não são círculos perfeitos. Mas preferimos não categorizar definitivamente deste modo.</p>
Indício moderado	Comentários
<p>AT1-16 <i>É um movimento em elipse pois os planetas sofrem a força da gravidade.</i></p> <p>AT1-06 <i>O movimento dos planetas em torno do sol é uma elipse (exceto por saturno que sua órbita é atrapalhada por urano).</i></p>	<p>Essencialmente correto, mas muito sucinto. Esse tipo de resposta se repetiu algumas vezes, e talvez outro pesquisador possa categorizá-la como um indício forte de que o aluno compreendeu a situação.</p> <p>Além da órbita atrapalhada, o aluno parece estar também. O texto comenta sobre a influência de Netuno na órbita de Urano, e o aluno se confundiu a esse respeito. Além disso, embora sua resposta indique que os movimentos são elípticos, parece</p>

Indício forte	Comentários
<p>AT1-01 <i>O movimento dos planetas em torno do sol não é um círculo perfeito, é em forma elíptica.</i></p> <p>AT1-10 <i>O movimento dos planetas em torno do Sol é um movimento elíptico, [...] tem épocas que os planetas se aproximam mais do Sol (periélio) e tem épocas que eles se encontram mais afastados (afélio).</i></p> <p>AT1-13 <i>Johannes Kepler, com auxílio das tabelas de observação dos astrônomo Tycho Brahe e com muito trabalho matemático chegou ao resultado que na verdade os planetas giravam em elipses, com o sol ocupando um de seus focos. O que acabou ajudando muito a melhorar mais ainda o sistema heliocêntrico o deixando mais completo para aquela época.</i></p>	<p>trazer dúvidas a respeito de Saturno (ou Urano). É o tipo de confusão fácil de ser resolvida, com o devido retorno ao aluno dessa questão.</p> <p>Sucinto e objetivo. Essa resposta se repetiu algumas vezes, e não temos elementos para considerar outra categorização senão um indício forte de que o aluno reconhece que os planetas giram ao redor do Sol em elipses.</p> <p>Aqui o aluno complementou o tipo de resposta objetiva anterior, com elementos das órbitas segundo a primeira lei de Kepler.</p> <p>Resposta bastante completa, e a única a lembrar de Tycho Brahe. Percebemos que muitos alunos são bastante literais ao perguntado, enquanto alguns poucos vão mais a fundo em suas justificativas. Procuraremos melhorar as questões para as próximas implementações, no sentido de induzir o aluno a se manifestar mais sobre suas colocações, trazendo o contexto histórico-filosófico para justificar suas posições. Ficamos satisfeitos que isso tenha ocorrido em parte dos alunos, mesmo sem essa menção explícita.</p>

A quarta afirmativa da primeira questão, “o sistema geocêntrico foi abandonado porque não conseguia explicar nenhum dos fenômenos observados, como o movimento retrógrado e o movimento diário do Sol e da Lua”, teve uma intenção de levar o aluno a se posicionar sobre a escolha entre teorias, induzindo a ideia equivocada de que o sistema geocêntrico não explicava os fenômenos observados. O objetivo, claro, foi levar o aluno a questionar essa afirmação, e perceber como ele se manifesta em relação à substituição de uma teoria por outra. Mostramos algumas respostas na tabela 5.

Tabela 5 - Exemplos de respostas dos alunos à quarta afirmativa da primeira questão.

Indício fraco	Comentários
<p>Não houve.</p>	<p>À essa questão também não tivemos nenhuma resposta, entre os alunos da amostra considerada, que indicasse uma posição concordante com a afirmação de que o sistema geocêntrico não explicava nenhum dos fenômenos citados.</p>

Respostas inconclusivas	Comentários
<p>AT2-02 <i>O que [o sistema geocêntrico] não conseguiu explicar era o tamanho da Lua e do Sol.</i></p> <p>AT1-14 <i>A teoria do geocentrismo foi substituída, pois continha muitos epiciclos. Claro, que a teoria do heliocentrismo também continha epiciclos, porém em menor quantidade. Além disso, todos queriam sistemas mais simples.</i></p>	<p>Resposta muito concisa, que até pode indicar que o sistema geocêntrico explica o movimento retrógrado e o movimento diário do Sol e da Lua. Mas como o aluno não foi explícito a esse respeito, preferimos não considerar um indício positivo a essa questão.</p> <p>Esse aluno parece dar uma ênfase à simplicidade do sistema como critério para o abandono do sistema geocêntrico, mas não explicita se esse sistema explicava ou não os fenômenos citados na afirmativa.</p>
Indício moderado	Comentários
<p>AT1-03 <i>O sistema geocêntrico não foi mais usado por causa do movimento retrógrado dos planetas, o sistema geocêntrico precisava dos epiciclos.</i></p> <p>AT1-04 <i>O sistema geocêntrico consegue explicar esses fenômenos mas foi abandonado porque houve uma teoria que explicava o mesmo fenômeno mais simplesmente além de explicar o movimento retrógrado sem o uso de hipóteses ad-hoc.</i></p>	<p>A resposta indica que o sistema geocêntrico explicava o movimento retrógrado dos planetas, mas precisava dos epiciclos para isso. Portanto já indica a posição de que havia uma explicação para o movimento retrógrado.</p> <p>Indício positivo em relação à explicação do sistema geocêntrico para o movimento retrógrado, com menção também a simplicidade. Apesar da tentativa de lembrar o conceito de <i>ad-hoc</i>, discutido no texto, é claro que os adeptos do sistema heliocêntrico também fizeram os mesmos usos de <i>ad-hocs</i>. Esse tipo de resposta, com alguma variação, apareceu diversas vezes nas colocações dos outros alunos.</p>
Indício forte	Comentários
<p>AT2-1 <i>O sistema geocêntrico foi abandonado pois surgiram novas teorias a favor do heliocentrismo que explicavam de forma mais simples e completa fenômenos que a teoria geocêntrica explicava e ainda explicava outros fenômenos que nem constavam na teoria geocêntrica.</i></p> <p>AT2-08 <i>O sistema geocêntrico começou a apresentar problemas e era complicado de mais. Para que a teoria não fosse abandonada, criou-se então os epiciclos que explicavam o movimento retrógrado dos planetas de maneira bastante complicada, ou seja, estava sendo sustentado por ad-hocs, [...] que são explicações feitas para que a teoria continue sendo aceita quando um "furo" aparece, na tentativa de mantê-la. Já o sistema heliocêntrico conseguiu prever novos acontecimentos, no começo ainda continha epiciclos mas foi sendo aprimorado e possuía [a vantagem de ser] explicado de maneira bem mais simples, e ao longo das décadas deixou para trás o geocentrismo.</i></p>	<p>Esse aluno sugere que o sistema geocêntrico explicava os referidos fenômenos, mas o sistema heliocêntrico fazia o mesmo de forma mais simples, e tinha explicações para o que outro sistema não tinha. Ou seja, existe aqui a indicação de que o sistema heliocêntrico engloba o geocêntrico com vantagens.</p> <p>Resposta bastante completa que indica que o sistema geocêntrico explicava os referidos fenômenos, mas uma outra teoria foi progressivamente mostrando vantagens. Ou seja, o aluno traz a dinâmica entre teorias rivais.</p>

A quinta e última afirmativa da primeira questão, “Copérnico foi o primeiro pensador conhecido na história a defender que a Terra não era o centro do universo”, tentou apenas identificar se o aluno reconhecia a historicidade da questão, ou seja, que a defesa de Copérnico, embora importante para o debate que viria a seguir, não foi a primeira a considerar o Sol como o centro do sistema. Muitos alunos compreenderam essa historicidade, mas, como até previsto por uma limitação do primeiro texto, citaram repetidamente Aristarco, entre os antigos gregos, como criador do heliocentrismo. O primeiro texto cita Aristarco como exemplo, apenas, mas essa passagem será otimizada para enfatizar a sugestão de que não se pode considerar um ou outro pensador como primeiro e único fundador de um ou outro sistema.

Talvez pela simplicidade da afirmativa, identificamos apenas uma resposta com Respostas inconclusivas de concordância. Para todas as demais respostas da amostra pudemos identificar um indício positivo ou negativo.

Tabela 6 - Exemplos de respostas dos alunos à quinta afirmativa da primeira questão.

Indício fraco	Comentários
AT2-05 <i>Verdadeiro, Copérnico depois de tanto lutar para provar a sua teoria e para provar como funcionava os instrumentos usados para obter bons resultados, foi considerado o fundador da Astronomia.</i>	Sugestão de que Copérnico realmente foi o primeiro a defender o heliocentrismo.
Respostas inconclusivas	Comentários
AT1-17 <i>Não, ele apenas retomou a ideia de que a terra seria o centro do universo.</i>	Apesar de essa resposta sugerir que talvez o aluno tenha cometido um ato falho (a afirmativa se refere à negativa da Terra como sendo o centro, não estando essa ideia em discussão), preferimos não categorizá-la.
Indício moderado	Comentários
AT2-02 <i>Quem foi o primeiro a defender foi Aristarco.</i>	Muito sucinto. Embora o aluno faça a sugestão de que Galileu não tenha sido o primeiro a trabalhar com o heliocentrismo, traz a conclusão equivocada de que Aristarco teria sido o primeiro. Essa resposta foi recorrente, sendo a razão de termos categorizado como indício moderado em vários outros casos.
AT1-11	

<i>O primeiro a representar essa teoria foi Aristarco, quase dois mil anos antes de Copérnico.</i>	Esse aluno enfatizou como a ideia de um Sol no centro é antiga, mas ainda apresenta o problema citado anteriormente.
Índicio forte	Comentários
<p>AT1-04 <i>Pensadores gregos como Aristarco já acreditavam que a Terra girasse ao redor do Sol.</i></p> <p>AT2-04 <i>Antes de Copérnico, já no séc. II a.c. questionavam as ideias do geocentrismo, como exemplo Aristarco e Heráclides.</i></p>	<p>Aqui o aluno faz a devida ênfase a Aristarco como exemplo, e a sugestão de que outros pensadores lidaram com essa ideia.</p> <p>Idem. As outras respostas consideradas com um índice forte de concordância com o objetivo da questão seguiram um padrão semelhante.</p>

A segunda questão trouxe ao aluno um parágrafo, transcrito abaixo, com várias afirmações inadequadas, e pede ao aluno que as identifique, justificando.

Os fenômenos naturais só podem ser explicados por uma única teoria. E esta teoria, uma vez provada, passa a ser imediatamente aceita como a explicação correta. Depois que uma teoria é provada, não é mais possível voltar atrás, ou seja, ela passa a ser uma lei inquestionável. Se não fosse assim, tudo o que aprendemos e descobrimos poderia ser rapidamente abandonado, e não existiria um conhecimento mais seguro que outro.

O enunciado sugere que há muitas afirmativas inadequadas, sugerindo implicitamente que talvez algumas pudessem ser adequadas, o que não foi o caso. Todas as sentenças são inadequadas do ponto de vista da Natureza da Ciência que se pretende discutir nas aulas. Essa redação foi melhorada, assim como o referido parágrafo, para incluir sentenças efetivamente adequadas, para que o aluno possa também se manifestar em relação a essas.

As respostas para essa questão foram mais complicadas de serem categorizadas, uma vez que foi comum um aluno não identificar todas as afirmações como inadequadas, ou mesmo identificar algumas como adequadas mesmo reconhecendo outras como inadequadas. Em geral, consideramos como índice moderado as respostas que tomaram boa parte das afirmações como inadequadas, justificando-as. Podemos afirmar que a maioria das respostas se enquadrava desse modo.

Como a maioria das respostas para essa questão foram consideravelmente maiores que as outras, em função das justificativas

para cada sentença identificada como inadequada, apresentaremos alguns trechos representativos das respostas do aluno.

Tabela 7 - Exemplos de respostas dos alunos à segunda questão.

Índice fraco	Comentários
<p>AT2-05</p> <p><i>[...] Depois que uma teoria é corroborada, ela pode ser questionada podendo ter “furos” [...], ou ter uma outra teoria mais exata (talvez provada) que passa a ser uma lei inquestionável. Por isso o que aprendemos e descobrimos pode ser abandonado, e não existe um conhecimento mais seguro que outro.</i></p>	<p>Consideramos essa resposta como um Índice fraco porque faz alusão a uma teoria talvez provada, e que pode ser uma lei inquestionável. Ainda que outras passagens estejam mais adequadas (a teoria pode ser questionada, o que aprendemos pode ser abandonado), no geral, temos mais elementos discordantes e incoerentes (“lei inquestionável”, mas “não existe um conhecimento mais seguro que outro”).</p>
Respostas inconclusivas	Comentários
<p>AT2-02</p> <p><i>Os fenômenos naturais podem ser explicados por várias teorias. Esta teoria será corroborada e não provada.</i></p>	<p>Essa resposta, em contraste à maioria das outras, limita-se ao citado. Preferimos não considerá-la como índice positivo pela falta de justificativas adicionais, sobre as outras sentenças.</p>
Índice moderado	Comentários
<p>AT2-08</p> <p><i>[...] Após uma teoria ser corroborada, permanece aceita até que surja uma anomalia ou uma nova teoria ainda melhor a substitua. [...] Não podemos afirmar com toda a certeza que tudo o que aprendemos e descobrimos está totalmente correto, os conhecimentos são aceitos e estudados enquanto melhor explicam os fatos que ocorrem sem a presença de anomalias.</i></p> <p>AT1-04</p> <p><i>[...] O mesmo fenômeno pode ser explicado por duas teorias rivais. [...] Nunca provamos uma teoria, mas quando a testamos e o resultado é bom para a teoria dizemos que é uma corroboração. [...] Até que em uma teoria for provado que todos os fenômenos que ela explica são verdadeiros serão necessários testes, questionando sua veracidade.</i></p>	<p>Boa concordância com os objetivos, mas com uma ênfase inadequada ao peso de uma anomalia na aceitação da teoria. No sentido lakatosiano, as teorias podem sobreviver indefinidamente com a presença de anomalias.</p> <p>Indicação da concorrência entre teorias e dos testes associados a elas. Sugestão confusa a respeito da “prova de todos os fenômenos”.</p>
Índice forte	Comentários
<p>AT2-10</p> <p><i>[...] É muito difícil lançar e conquistar adeptos a novas teorias, existem muitos fatores que contribuem ou não para a aceitação de uma teoria. [...] novas anomalias podem surgir e, principalmente, porque o tempo passa e novos fenômenos acontecem (que podem não ser explicados pela teoria) as teorias costumam ser incansavelmente submetidas a testes e reflexões na tentativa de encontrar falhas, e assim, evoluir. [...] apesar de surgirem novas descobertas, o que</i></p>	<p>Boa percepção da provisoriidade (contextualizada) das explicações, e de que teorias são aceitas por um processo complexo (não enumerável?).</p>

aprendemos e descobrimos não será rapidamente abandonado, cito como exemplo as leis de Newton que apesar de já substituído pelas teorias de Einstein continua sendo utilizada, principalmente porque funciona para a maioria dos casos [...].

AT1-13

[...] Há como corroborar para tentar fazer com que ela [a teoria] se ajuste mais ao “caminho certo”, mas nunca se terá a plena certeza, ou alcançará a plenitude nas teorias. [...] não é algo tão rápido assim, existe todo um estudo que outros cientistas terão para “testar” a teoria em jogo, outra que é complicado substituir uma teoria antiga por uma nova, [...] Quando aparecer uma teoria melhor detalhada e com mais corroborações, e ela ser mais aceita, a antiga é substituída pela nova. [...] a ciência é falseável, por tanto questionável. Por isso há mudanças, pois há cientistas que tem dúvidas por certas teorias e tentam encontrar melhores explicações para ambas. [...] se não fosse assim não teria o porquê da existência da ciência, viveríamos em um mundo fechado para novas descobertas e nos contentaríamos somente com o que os antigos deixaram para nós. A ciência é como uma pedra bruta que deve ser lapidada, quanto mais lapidamos ela, ou seja, quanto mais buscamos entender os fenômenos, mais chegamos aos ajustes finais que nos levam às novas perguntas.

Resposta bastante completa, boa percepção da competição entre teorias e provisoriamente das explicações. Consideramos particularmente interessante o final de sua resposta, sobre como as explicações nos levam a novas perguntas, implicitamente trazendo a noção de força heurística.

A terceira questão traz o enunciado: “Cite ao menos um elemento que pode decidir entre duas teorias rivais. Este elemento garante a escolha pela teoria mais correta? Justifique”. Essa questão tentou fazer o aluno se manifestar em relação a alguns critérios objetivos, de acordo com o discutido sobre a Natureza da Ciência, para a escolha entre teorias. Provavelmente porque foi um tema bastante discutido nas aulas, não tivemos aqui nenhum Indício fraco, ou seja, todas as respostas (inteligíveis, já que algumas não puderam ser adequadamente interpretadas) fizeram alusão a um ou outro tema discutido, de tal modo a não se pronunciar de forma inadequadamente subjetiva, ou seja, sem nenhum dos critérios discutidos.

Tabela 8 - Exemplos de respostas dos alunos à terceira questão.

Indício fraco	Comentários
Não houve.	Todas da respostas da amostra fizeram alusão a algum aspecto discutido sobre a escolha entre teorias.
Respostas inconclusivas	Comentários

<p>AT1-12 <i>O teste, ele ajuda na escolha da teoria mais correta, com ele podemos comprovar uma das duas e a comprovada será aceita.</i></p> <p>AT2-02 <i>[...] ela [a força heurística] pode levar a novos fenômenos que podem apresentar falhas em outras teorias.</i></p>	<p>Traz alguns elementos coerentes, mas no todo a resposta é evasiva.</p> <p>Passível de uma interpretação de que previsões podem indicar falhas em uma teoria e corroborar outra, mas muito sucinto, sem mais elementos que permitam uma adequada interpretação.</p>
Índicio moderado	Comentários
<p>AT2-07 <i>Um elemento que pode ajudar na escolha da melhor teoria é a capacidade de predição, força heurística. Este elemento não garante a melhor escolha. Para chegar a teoria mais correta é preciso um conjunto de elementos, e não apenas um.</i></p> <p>AT2-05 <i>[...] a Força Heurística pode decidir, pois esse elemento é a previsão de novos fenômenos e assim se uma teoria prever todos ou quase todos os fenômenos ela é considerada a mais “correta” diante de uma outra teoria que não prevê os fenômenos e com isso ela ajuda no desenvolvimento da física, porque estando errada ou não faz com que os físicos vão atrás de novas explicações para os fenômenos.</i></p>	<p>Percepção adequada de como um critério objetivo pode ajudar na escolha, mas não é isoladamente um fator decisivo.</p> <p>Boa concordância com os objetivos. Em um primeiro momento pode-se pensar que a afirmação de que “a força heurística pode decidir” sugere um critério decisivo, mas pensamos que o “pode” está adequado à intenção de mostrar que, de fato, este critério realmente pode decidir, se assim for a decisão metodológica dos cientistas envolvidos, como comenta Lakatos.</p>
Índicio forte	Comentários
<p>AT1-11 <i>[...] O poder de prever novos fatos, que com aquilo que há já descrito na teoria, comprovar esse fato, ou seja, ele vai estar corroborando a teoria. [...] Quanto menos teorias ad-hoc for utilizado, ou seja, quanto menos complexo for a teoria, mais chances de ser aceita ela terá.</i></p> <p>AT2-04 <i>Um dos principais elementos na decisão entre duas teorias rivais, é a força heurística (capacidade de prever novos fenômenos), como ocorreu com a teoria de Newton, quanto à órbita de Urano; e a quantidade de anomalias (“furos”) que não podem ser explicadas pela teoria “pura” (sem ad-hocs), faz com que enfraqueça a teoria.</i></p>	<p>Descrição clara da força heurística, e sugestão da importância da economia de ad-hocs, ou seja, o princípio da parcimônia discutido no texto. Término com a adequada sugestão de que esses critérios aumentam as chances de aceitação de uma teoria.</p> <p>Boa percepção do papel da previsão na aceitação de uma teoria, e boa articulação que demonstra um entendimento dos ad-hocs. Descrição adequada do processo de degenerescência.</p>

A quarta questão, “Cite ao menos uma demonstração de força heurística da Gravitação de Newton e da Gravitação de Einstein”, teve o objetivo de levar o aluno a identificar alguns elementos preditivos das duas teorias referidas, usados a favor de sua aceitação. Não tivemos indícios negativos também aqui, até mesmo porque a questão é bastante

fechada e específica sobre a força heurística: se o aluno conhece o termo, então muito provavelmente identificará seu papel nas teorias citadas, uma vez que foi um tema recorrente ao longo das aulas. Provavelmente também por isso tivemos poucos indícios nulos, sendo a maioria das respostas concordantes com o objetivo citado e bastante semelhantes.

Tabela 9 - Exemplos de respostas dos alunos à quarta questão.

Indício fraco	Comentários
Não houve.	Todas as respostas inteligíveis da amostra apresentaram, ainda que em parte, uma concordância com o contexto da força heurística como discutido nas aulas.
Respostas inconclusivas	Comentários
AT1-09 <i>Newton previu a existência do planeta mercúrio e Einstein previu o efeito da luz em relação a gravidade.</i>	Além de muito sucinto, o aluno aparentemente comete um ato falho em relação a Mercúrio (o planeta previsto foi Netuno, e não o foi por Newton), e também é evasivo na questão da relação entre a luz e a gravidade. Outros poderiam relevar estes equívocos, mas preferimos não considerar essa resposta como indício positivo, pela pouca objetividade da resposta.
Indício moderado	Comentários
AT2-07 <i>Einstein calculou que a luz de uma estrela distante, ao passar pelo Sol, seria desviada. O valor calculado e previsto foi constatado. Newton mostrou que os planetas se comportam segundo sua teoria da Gravitação, sua trajetória tem que ser elíptica.</i>	Sugestão correta do desvio da luz, mas a “previsão” das órbitas elípticas foge um pouco da caracterização da força heurística (capacidade de antever novos fenômenos posteriormente confirmados).
AT2-08 <i>Newton elaborou uma teoria denominada Gravitação Universal, esta teoria lidava com a dinâmica do sistema heliocêntrico e justificava as forças que causavam os movimentos desconhecidos. Esta teoria conseguiu prever matematicamente a trajetória dos planetas. [...] Einstein calculou a correta órbita de Mercúrio.</i>	Idem.
Indício forte	Comentários
AT1-11 <i>Newton previu a existência do planeta Netuno, que interferia na órbita de Urano e foi encontrado por meio de cálculos usando a Teoria de Newton. Einstein previu a curvatura da luz, que foi observada durante um eclipse solar, aproximadamente 10 anos depois da teoria ser desenvolvida.</i>	Apesar da pequena incoerência em relação a Newton ter previsto realmente Netuno e, a seguir, a sugestão de que foi através de sua teoria, pensamos que a resposta sintetiza uma clara concordância em relação ao objetivo da questão.

<p>AT1-14 <i>Quando houve uma "anomalia" com a gravidade no planeta Urano. Os newtonianos propuseram que anomalia poderia ser resultado da interferência de outro planeta desconhecido. E foi comprovada a existência do tal planeta (Netuno). Quando Einstein calculou que a medição da deflexão gravitacional da luz poderia ser calculada [medida] com equipamentos aqui na Terra. [...]</i></p>	<p>Essencialmente correto.</p>
--	--------------------------------

A quinta e última questão está relacionada com as duas anteriores, e objetivou fazer o aluno manifestar sua visão a respeito das características de uma boa teoria, ou seja, o que justifica sua posição como a mais aceita. Seu enunciado é o que segue: “vimos que a atividade científica guarda diferentes elementos, e que podem ser vistos de maneira diferente, por diferentes pessoas. Para você, quais elementos uma teoria deve ter para ser considerada a melhor?”. Embora muitos alunos tenham compreensivelmente se remetido aos elementos já citados sobre, por exemplo, a força heurística de uma teoria, nossa intenção foi a de permitir ou incentivar o aluno a apresentar uma posição pessoal mais completa, a fim de avaliar sua posição final após o término das discussões com a unidade de ensino.

Tabela 10 - Exemplos de respostas dos alunos à quinta questão.

Indício fraco	Comentários
<p>AT1-05 <i>Tem que haver apenas duas coisas: Força Heurística e convicção.</i></p>	<p>Julgamos um Indício fraco, e não nulo, por ser muito sucinto e por limitar em demasia as exigências de uma boa teoria.</p>
Respostas inconclusivas	Comentários
<p>AT1-10 <i>Ela [a teoria deve] possuir lógica, ser testada e comprovada meticulosamente, nunca falhar mesmo com o passar do tempo, nunca ser refutada, ter uma visão heurística e não se basear em algo místico não comprovado até hoje.</i></p>	<p>Além da ênfase na onipotência da teoria, que poderia inclusive ser considerada um Indício fraco, existem alguns elementos tautológicos (se é a teoria melhor, então é porque não foi refutada). Ficamos em dúvida na sua categorização.</p>
Indício moderado	Comentários
<p>AT1-02 <i>Força heurística: não descreve só o fenômeno. Corroboração: quanto mais fatos se encaixam com a teoria mais certa estará.</i></p> <p>AT2-08 <i>Dois fatores importantes na minha opinião: primeiramente, não deve apresentar anomalias,</i></p>	<p>Apesar de muito sucinto, e justamente por isso, não encontramos elementos que reprovassem sua categorização.</p>

falhas, pois um erro pode acabar com toda a teoria e deve também ter força heurística pois prevendo novos fenômenos mostra a capacidade do cientista e nos leva a crer que aquilo realmente tem grandes chances de estar correto.

Coerente em boa parte, apresentando, talvez, uma ênfase inadequada na ausência de anomalias como algo determinante.

Índicio forte	Comentários
<p>AT1-11 <i>A teoria precisa ser simples, já que a natureza tende a gastar a menor quantidade de energia possível. Ter menos teorias ad-hoc, assim os fatos podem ser explicados no enredo da própria teoria. A força heurística também é um fato importante, já que podemos corroborar uma teoria com fatos até então desconhecidos, mostrando que ela pode ser aplicável a mais casos. Também se um fato refute outra teoria “concorrente”, a primeira tem uma chance maior de ser aceita. [...]</i></p>	<p>Resposta bastante coerente em relação aos temas discutidos. Boa percepção de uma hipótese ad-hoc.</p>
<p>AT2-04 <i>Dentre os diversos elementos, considero como relevantes para que uma teoria seja considerada a melhor é (a) a capacidade de transformar anomalias em corroborações, como a teoria de Newton fez quanto a órbita de Urano, (b) a quantidade de ad-hocs que possui também é importante pois parece muito fraca, com muitos buracos, e, (c) o tempo que ela (a teoria) se mantém “viva”, como a de Einstein, que após muitas tentativas de falseá-la continua funcionando e explicando novos fenômenos.</i></p>	<p>Idem, com a interessante sugestão de que boas teorias convertem anomalias em corroborações (o que é uma consequência da força heurística).</p>

De modo geral, consideramos que o retorno obtido com os alunos demonstrou alguns avanços em relação à imagem da atividade científica. Esse retorno nos mostrou que o questionário precisava ser otimizado para as próximas implementações da unidade de ensino, assim como essa própria. Faremos uma análise mais direta a esse respeito na seção seguinte, onde procuraremos tecer algumas primeiras conclusões preliminares, com o retorno obtido com o professor.

5.2.3 Constatações preliminares e reorientações da pesquisa

A unidade de ensino proposta, nesta sua primeira implementação, tornou possível identificarmos alguns elementos que foram melhorados, tanto relacionados ao conteúdo dos textos quanto aos instrumentos de coleta. Discutiremos esses elementos na sequência, procurando identificar falhas e potencialidades, a partir das conversas com o professor, juntamente com nossas percepções em relação ao retorno com os alunos.

Nesta primeira implementação tivemos a colaboração de um professor experiente que já tem um perfil consonante às propostas da unidade de ensino, o que certamente foi um facilitador para os trabalhos e discussões realizadas com os alunos. Ao implementar essa proposta com a colaboração de outro professor, pretendemos discernir outros condicionantes para um trabalho com a Natureza da Ciência em sala de aula, conforme discutiremos na próxima seção. Esse primeiro professor classifica essa intenção como altamente desejável, dizendo ainda que faltam materiais didáticos e paradidáticos para que essa inserção, da história e filosofia da ciência, seja feita com um mínimo de qualidade.

Uma das questões centrais do questionário ao professor, relacionada diretamente às questões de pesquisa, é sua avaliação em relação à estrutura da unidade de ensino como um todo (procedimentos, textos, questões, apresentações, discussões). Transcrevemos a seguir parte da resposta do professor.

Quanto à seleção e extensão dos conteúdos, a proposta me parece bastante adequada, principalmente quando trata da RG e os fenômenos associados [...]. Os alunos se sentiram especialmente motivados nesse aspecto. [...]. No primeiro texto é feita uma tentativa de abordar a influência das instituições religiosas, mas o tópico ficou muito superficial e induz à uma interpretação ingênua sobre “a idade das trevas”. [...]. Quanto ao aspecto epistemológico, nota-se claramente a influência principal de Lakatos, mas faltou uma sistematização dos conceitos para que o aluno pudesse formar uma interpretação mais orgânica da evolução da ciência. As apresentações, incluindo as animações, facilitaram muito a exposição e discussão da história apresentada. As questões para discussão auxiliaram a estruturar as discussões,

porém elas não estão induzindo muito o aluno à reflexão do texto. Menos perguntas, mas mais elaboradas e incisivas, talvez torne as discussões produtivas. Isso é necessário devido ao fato de que esta unidade de ensino realiza uma perturbação no contrato didático ao propor tanto um objeto de ensino diferente quanto uma perspectiva (reflexão histórico-filosófica) diferente. Os alunos estão acostumados a buscar respostas automáticas de pura memorização das ideias do texto, e isso é difícil de modificar. Existe esse elemento a mais que deve ser considerado e que pode trazer ruído na avaliação da proposta.

Percebemos algumas das colocações do professor como altamente procedentes, e otimizamos boa parte do material de modo a contemplar essas propostas e outras a serem comentadas na sequência. Concordamos em parte com a colocação do professor em relação ao período da Idade Média, uma vez que esta aparece de forma bastante pontual no texto. Não é nossa intenção aprofundar esse período, e, se este não aparece no texto com a devida ênfase, é porque precisamos “saltar”, por simples tempo didático, para os episódios mais relevantes aos nossos propósitos. Mas reforçamos a sugestão ao aluno, nos textos, de que as questões sobre a cosmologia continuaram a serem debatidas durante o período citado.

Embora nossa intenção tenha sido trabalhar, em um primeiro momento, com elementos da epistemologia de diferentes pensadores, assumimos uma preferência por Lakatos por considerarmos que os elementos de sua epistemologia são bastante didáticos em relação a uma primeira aproximação da atividade científica. Não é nossa intenção, e acreditamos que nem mesmo seria algo factível ou mesmo desejável, levar ao aluno uma profunda discussão a respeito das potencialidades e limitações de diversas tipologias em relação à Natureza da Ciência. Nossa posição central a esse respeito é de que é altamente desejável que o aluno possa conhecer mais de perto algumas ideias relacionadas à atividade científica, pelas justificativas já apresentadas no capítulo sobre a história e filosofia da ciência no ensino de física. E, como acreditamos que nenhuma epistemologia específica é suficiente para esse objetivo, pretendemos trazer algumas ideias que, pensamos, se complementam para possibilitar uma aproximação adequada da atividade científica, para possibilitar ao aluno uma visão mais consonante com o que sabemos a partir dos estudos realizados sobre esse tema. Por isso pensamos que, embora essa proposta plural inicial seja algo interessante para os fins

citados, é necessário um cuidado a respeito do que levar ao aluno, e do que, deliberadamente, não levar.

Para esse fim, não acreditamos que seja possível e articulável didaticamente uma proposta, voltada ao Ensino Médio, que trouxesse ao aluno elementos de um cem número de diferentes tipologias para a atividade científica. Da mesma forma, não temos dúvidas de que, não importa quais duas ou três tipologias sejam escolhidas, sempre haverá limitações, sempre haverá quem diga “por que você não escolheu este epistemólogo”, ou “aquele outro”. Deste modo, sustentamos, pelo menos em um primeiro momento, que os elementos das epistemologias de Lakatos e Popper, com algumas ideias de Feyerabend para diminuir e equilibrar as noções prescritivas daqueles, tenham servido para uma primeira aproximação. Acreditávamos, até então, que essa primeira aproximação fosse adequada ao aluno que nunca teve a oportunidade de discutir esses temas, e ao aluno que, incentivado por eles, quisesse se aprofundar mais nas questões discutidas. Repensamos essas questões, e reformulamos a proposta geral, como veremos na sequência.

Um desafio que inicialmente se apresenta é justamente como abordar elementos de diferentes tipologias, de modo a permitir uma discussão com os alunos suficientemente estruturada. A respeito dos potenciais problemas de se trabalhar com diferentes tipologias o professor comenta:

O risco de utilizar uma abordagem plural em uma primeira abordagem da HFC é a falta de “estrutura” para analisar a história apresentada, e os debates acabam se tornando demasiadamente sem referencial. Parece-me mais didático primeiro introduzir um novo referencial epistemológico (o mais adequado para um certo conteúdo), enfraquecendo de forma significativa as concepções prévias inadequadas. Em um segundo passo, introduzir a pluralidade e um debate mais profundo. [...].

Para evitarmos esses riscos preferimos inicialmente abordar a atividade científica com um olhar lakatosiano, seguido dos elementos da epistemologia de Popper, por entendermos que ambas se complementam, como já sugerimos. Deixamos para trazer alguns elementos de Feyerabend apenas no último texto, e julgamos que, nesta etapa de sondagem, esta estrutura esteja adequada para as discussões realizadas.

Quando perguntado sobre o que mudaria nessa proposta, o professor insiste: "*Mudaria o foco epistemológico plural para a teoria lakatosiana e exploraria mais os fenômenos associados à RG (se não no texto, na apresentação, com o uso de vídeos ou mais animações)*". Entendemos que adotar uma única tipologia para a Natureza da Ciência seja mais simples para se trabalhar com os alunos. Como já sugerimos, o problema que vemos nisso é o fato de limitarmos a complexidade da atividade científica a um único conjunto de elementos que acabam por se tornar prescritivos do que é fazer ciência. Por outro lado, constatamos que de pouco adianta pensarmos em atingir um ideal de discussões críticas com os alunos, se alguns elementos notoriamente mais persistentes em suas concepções iniciais não forem atacados de modo a intensificar o período de incubação psicológica das concepções trabalhadas. Para isso, a proposta foi reformulada com o intuito de trazer menos concepções epistemológicas, porém mais bem trabalhadas, com um maior investimento em subsunçores para a efetiva apreensão por parte dos alunos.

O professor comentou a importância da apresentação eletrônica, com figuras e animações, para a discussão dos assuntos. Essa apresentação também foi otimizada, com a melhoria estética e de conteúdo, e o acréscimo de novos trechos de filmes e documentários, como o filme "Einstein e Eddington" (Martin, 2008), que possui várias passagens bastante didáticas em relação aos temas discutidos na unidade de ensino. Com esses acréscimos, contemplamos também a sugestão do professor em relação ao aprofundamento da RG, ainda que já estivéssemos trabalhando nisso, mesmo antes dessa recomendação. Permitimos ao aluno, desse modo, um aprofundamento de tópicos de física moderna, ao mesmo tempo em que aproveitamos o interesse do aluno já constatado por esses assuntos para se discutir de modo mais efetivo alguns elementos da Natureza da Ciência.

Um ponto particularmente importante das considerações do professor reside em torno das questões norteadoras elaboradas ao longo dos textos. Inicialmente preferimos manter uma quantidade de questões que, agora, também julgamos como um pouco excessiva, uma vez que muitas remetem a respostas que o aluno apenas "pesca" ao longo dos textos (embora julguemos que mesmo algumas dessas sejam relevantes, ao levar o aluno a revisar trechos importantes). Nossa percepção a esse respeito, juntamente com a identificação do professor, resultou em um processo de reelaboração dessas questões, de modo a levar o aluno a mobilizar seu entendimento em situações correlatas às discutidas nos textos.

Perguntado sobre as dificuldades de se trabalhar com a unidade de ensino proposta, e sobre possíveis sugestões para minimizá-las nas próximas implementações, o professor comenta:

A maior dificuldade foi fazer os alunos entenderem o que era esperado deles (a reflexão e o debate sobre os textos). O conteúdo físico apresentado foi bem compreendido, com ressalva ao princípio da equivalência e o conceito de ad-hoc. Para minimizar tais efeitos desta proposta diferenciada, o primeiro texto tem que ser especialmente trabalhado para tal. [...]. Outra dificuldade, já mencionada, foi organizar os conceitos filosóficos de forma consistente para formar uma teoria. Novamente, sugiro a abordagem não plural caso seja a primeira vez que os alunos estejam sendo expostos a este tipo de proposta [...]. Outra dificuldade é que o conceito de dispersão é citado no último texto para questionar se a RG foi aceita um tanto precipitadamente. Tal conceito “cai” de paraquedas no texto. Foi necessário uma explanação a parte na apresentação para que os alunos tivessem uma ideia básica sobre o que estava sendo discutido.

Concordamos em boa parte com essas indicações, e acrescentamos algumas instruções mais explícitas em relação à dinâmica de atividades, para que o aluno participe dessas de modo mais consciente do que é esperado dele. Porém, foi conversado com o professor a respeito dessas atividades, e por isso entendemos que uma apresentação adequada dessas, ao primeiro dia de aula, seja muito importante para o andamento das próximas aulas. Seguindo sugestões do professor, concordamos que o primeiro texto, e a primeira apresentação, devia mostrar melhor todo o contexto a ser discutido, o que foi feito na versão posterior do material.

Um cuidado que tivemos foi quanto à profundidade pretendida para os assuntos discutidos, uma vez que nossa intenção principal é a discussão sobre a Natureza da Ciência. Mas isto não pode ser feito sem as ilustrações devidas de exemplares do desenvolvimento da ciência, e certamente também é nossa intenção que o aluno aprenda conceitos da Gravitação pouco discutidos nas escolas.

Entendemos que esta unidade de ensino pode tanto ser trabalhada com alunos de segundos e terceiros anos do Ensino Médio, para a discussão da Natureza da Ciência, quanto para turmas de primeiro ano que vão ainda estudar Gravitação. Para essas últimas, entendemos que esta unidade se encaixa muito bem como um prelúdio ao capítulo de Gravitação Universal, ao constituir um panorama dos problemas enfrentados pelos pensadores em relação aos movimentos observados dos corpos celestes. Após implementada essa unidade de ensino, o professor pode retomar o livro e iniciar os trabalhos mais quantitativos, com as Leis de Kepler e a Gravitação Universal propriamente dita, em um contexto já devidamente discutido.

Mesmo constatando que uma parcela de alunos não forneceu respostas passíveis de uma categorização adequada, no geral percebemos uma influência positiva em relação aos objetivos da proposta. Sobre a eficácia da unidade de ensino, ou seja, a capacidade de mobilizar o interesse do aluno e a capacidade de propiciar ao aluno os elementos básicos da Natureza da Ciência propostos, o professor comenta que *“a maioria dos alunos parece ter sofrido uma modificação substancial nas ideias iniciais”*.

O professor foi bastante crítico em relação a alguns pontos da proposta, como demonstrado em suas respostas anteriormente citadas, o que vemos como fundamental para que pudéssemos trabalhar com a unidade de ensino de modo a deixá-la mais adequada para as próximas implementações. Mesmo com seu olhar crítico, o professor enfatiza que *“a originalidade e a qualidade da proposta estão muito acima do que se encontra hoje em livros paradidáticos ou didáticos”*. Isso nos deixou confiantes de que, se ainda temos muito trabalho pela frente, temos também a possibilidade de oferecer importantes contribuições para todos os profissionais da educação que desejam trabalhar assuntos correlatos nas salas de aula.

Percebemos, com esse piloto, caminhos a melhorar, do que citamos, a seguir, as modificações realizadas para a etapa definitiva da pesquisa.

Alguns aspectos dos questionários precisaram ser melhorados. A primeira questão do questionário aos alunos, *“Avalie cada afirmativa abaixo como verdadeira ou falsa, justificando e comentando em seguida”*, demonstrou-se falha ou inadequada em seu enunciado. Como discutimos na análise dos resultados da implementação piloto, algumas justificativas dos alunos não condiziam com um simples “verdadeiro ou falso”. Ainda, constatamos que esse tipo de resposta é pobre de significados, prejudicando nossa análise. Reformulamos então seu

enunciado para “*Avalie atentamente as afirmativas abaixo, e comente o que você pensa a respeito de cada uma*”. Modificamos também os itens presentes nessa questão, conforme o tipo de resposta que obtivemos no piloto, e sugestões do professor colaborador.

A segunda questão aos alunos, “*O texto abaixo contém muitas afirmativas inadequadas. Localize-as e justifique*”, também precisou ser melhorada. Do modo em que estava, sugeria que essas afirmativas precisariam ser “encontradas”, enquanto cada frase podia ser avaliada como inadequada em algum nível. Diante disso, ampliamos esse texto, de modo a exigir do aluno realmente um discernimento em relação ao que se está sendo afirmado. A redação final ficou: “*Ao longo da história da ciência, um dado fenômeno natural foi explicado por diferentes teorias. Mas chega um momento onde uma dessas teorias se mostra superior, fazendo com que outras sejam abandonadas. Uma teoria é abandonada quando surge uma anomalia, ou seja, quando algum dado discordante mostra que a previsão teórica está errada, indicando que a teoria então também está errada. Quando uma previsão é confirmada, a teoria passa a ser provada, passando a ser uma lei inquestionável*”.

Em relação à terceira questão, “*Cite ao menos um elemento que pode decidir entre duas teorias rivais. Este elemento garante a escolha pela teoria mais correta? Justifique*”, aumentamos as possibilidades de uma resposta mais completa dos alunos, não limitando ao “cite ao menos um elemento”. Essa questão, agora a questão 5 do novo questionário, foi reformulada para: “*Ao longo da história da ciência, frequentemente diferentes explicações foram dadas para os fenômenos naturais, fazendo surgir teorias rivais, ou seja, que concorrem para a explicação de um fenômeno. Imagine-se sendo um “juiz” que precisa escolher entre teorias concorrentes. Comente a respeito de quais elementos você usaria para decidir qual delas é melhor*”.

A questão seguinte, adicionada ao questionário, é uma complementação a esse contexto: “*Os elementos descritos por você, na questão anterior, garantem a escolha pela teoria mais correta ou verdadeira?*”. Com isso, pensamos, abrimos uma possibilidade mais abrangente para a análise dos resultados (neste novo cenário, a última questão²⁵ da atividade piloto foi suprimida, uma vez que passa a estar contemplada por essas sugestões).

²⁵ “*Vimos que a atividade científica guarda diferentes elementos, e que podem ser vistos de maneira diferente, por diferentes pessoas. Para você, quais elementos uma teoria deve ter para ser considerada a melhor?*”.

A quarta questão, “*Cite ao menos uma demonstração de força heurística da Gravitação de Newton e da Gravitação de Einstein*”, foi reformulada para, mais uma vez, não limitar a resposta do aluno: “*Diga o que você entende por força heurística, e exemplifique no caso da Gravitação de Newton e da Gravitação de Einstein*”. Com isso permitimos, esperamos, que o aluno elabore seu entendimento a respeito deste conceito importante no contexto discutido em sala, ao mesmo tempo em que verificamos a mobilização de seu entendimento no caso das referidas teorias.

Em relação ao questionário ao professor, em princípio não percebemos a necessidade de mais alterações além de uma, mais pontual. O que tentamos garantir foi que cada questão estivesse realmente entendida, e que as respostas do professor estivessem dentro do contexto esperado, para permitir uma análise adequada e fidedigna de seu retorno. Para isso, pretendemos fazer da entrevista o momento onde isso fosse garantido, ou seja, para que qualquer inadequação em relação ao esperado, das respostas dos professores, fosse contornada e pudéssemos, efetivamente, compor um conjunto de dados significativos para nossos propósitos.

Porém, realizamos uma alteração mais evidente em relação à questão 9: “*Levando em conta o tempo reduzido que dispomos para a disciplina de física, quais suas sugestões para tratar esses assuntos relativos à Natureza da Ciência sem prejudicar o conteúdo curricular?*”. Percebemos uma inadequação em relação aos propósitos com essa questão, ao supostamente sugerir que o conteúdo curricular não deva ser prejudicado. Embora certamente não pretendamos realizar qualquer interferência negativa no “curso natural” (existe um?) da disciplina de física, certamente nossa proposta se caracteriza por propor mudanças (ao nosso ver, positivas, é claro) ou, no mínimo, possibilidades de mudança. Diante disso, não é coerente nos referirmos a um possível prejuízo ao conteúdo curricular. Reformulamos então para simplesmente: “*Como você avalia a intenção de se abordar os elementos da Natureza da Ciência no ensino básico?*”.

Em relação à unidade de ensino como um todo, fizemos algumas modificações a partir das constatações com a implementação piloto. Primeiramente, a própria apresentação eletrônica foi integralmente refeita, para se aproveitar melhor os recursos visuais em outras versões, mais modernas, do editor de apresentações utilizado. Não apenas pela melhoria visual em si, mas também para enfatizar melhor alguns pontos identificados como merecedores de maior atenção (como o conceito de ad-hoc, força heurística, e outros identificados ao longo de nossa

discussão), e também alguns acréscimos de cenas dos documentários citados, para enriquecer o potencial didático da apresentação. Naturalmente, a atenção a esses conceitos também exigiu reformulações pontuais nos textos aos alunos.

Em relação às atividades propostas aos alunos ao término de cada texto, fizemos uma adequação em relação às constatações do professor sobre o tempo didático disponível, que se demonstrou escasso para todas as atividades. Diminuímos o número dessas questões, e otimizamos os enunciados das efetivamente utilizadas. E sugerimos aos professores mecanismos de avaliação dos alunos relacionada a essas atividades, para valorizar as mesmas ao longo da implementação da unidade, e inclusive em nossa pesquisa.

5.3 A implementação final

A implementação definitiva da pesquisa se deu entre outubro e novembro de 2015, no Instituto Federal de Santa Catarina, campus Jaraguá do Sul, e no Instituto Federal Catarinense, campus Blumenau. A unidade de ensino foi implementada por professores com características profissionais distintas. O primeiro, que chamaremos de professor A, com graduação em licenciatura em física e mestrado em física, pela Universidade do Estado de Santa Catarina, campus Joinville, e o segundo, professor B, com graduação em licenciatura em física e mestrado em educação Científica e Tecnológica, pela Universidade Federal de Santa Catarina. Ambos os professores foram bastante solícitos e participativos ao longo de toda a pesquisa.

O professor B já tinha participado da implementação piloto, e se prontificou a participar também na implementação definitiva. Assim como a implementação piloto, esse professor preferiu trabalhar a unidade de ensino proposta na pesquisa com suas duas turmas de primeiro ano do Ensino Médio, integrado ao curso técnico de informática do campus Blumenau. Contudo, para otimizar a análise das atividades ao longo da implementação da unidade de ensino, concentramo-nos em acompanhar uma dessas turmas, que será denominada por turma B. Por ocasião do calendário acadêmico e da necessidade da pesquisa, a implementação se deu logo após o conteúdo de Gravitação, previsto no currículo de física para esse ano. Ou seja, os alunos primeiro estudaram os aspectos habituais vistos nos livros didáticos de física, com as Leis de Kepler e a Lei da

Gravitação Universal de Newton, entrando em seguida nas discussões propostas pela implementação da unidade de ensino.

O professor A foi contatado também pessoalmente, estando lecionando na mesma instituição que o pesquisador deste trabalho. Após comunicado da possibilidade de participação na pesquisa e informado dos detalhes da mesma, mostrou-se bastante interessado e colaborativo. A implementação da unidade de ensino foi realizada, por esse professor, também em uma turma de primeiro ano do Ensino Médio, integrado ao curso técnico de química do campus de Jaraguá do Sul. Essa turma, à semelhança da turma B, também já tinha estudado os aspectos habituais da Gravitação previstos no currículo, mas em um semestre anterior, ou seja, há mais tempo que a turma de Blumenau.

Com ambos os professores e seus respectivos trabalhos com a implementação da unidade de ensino, houve o acompanhamento *in loco* do pesquisador, em todas as aulas e atividades. Além dos registros escritos pelo pesquisador, todas as aulas foram gravadas em áudio, com a devida ciência e consentimento dos alunos, para posterior consulta sempre que necessário. Esses registros, somados às atividades escritas realizadas pelos alunos (atividade em grupo e avaliação final), constituem nossos dados diretos para tecermos nossas considerações na sequência deste trabalho.

5.3.1 As aulas

De modo geral, a implementação da unidade de ensino se deu de forma tranquila com ambas as turmas, sem obstáculos que pudessem comprometer o andamento das atividades. Entrementes, os perfis individuais das turmas resultaram, naturalmente, em diferenças em relação à atenção e empenho das mesmas, e também ao retorno com a avaliação final, do que consideramos adequado fazer um relato separado para cada turma.

5.3.1.1 Turma A

Começaremos pelo relato das aulas do professor A, do campus de Jaraguá do Sul. Essa turma estava composta por 34 estudantes, sendo 20 alunas e 14 alunos. Apesar de ser uma turma com um número razoável de

alunos e alunas, a mesma se mostrou bastante colaborativa e interessada nos assuntos discutidos ao longo da unidade de ensino.

O professor A demonstra um estilo bastante dialógico de ministrar suas aulas, inquirindo a todo instante os alunos a respeito dos assuntos tratados, e concedendo constantemente a palavra ao aluno. Como nessa turma havia alguns alunos bastante curiosos em relação à vários aspectos do conteúdo, isso chegou inclusive a se tornar uma dificuldade para o andamento do planejado para a aula, em algumas vezes, conforme comentaremos também na entrevista com esse professor. De todo modo, isso não chegou a comprometer o tempo disponível para a implementação da unidade, apesar de isso ter que ser compensado com uma maior brevidade em outros momentos.

Diferentemente do que com a turma B, para a implementação da unidade na turma A dispomos de aulas duplas e, em alguns momentos, aulas triplas. Se por um lado essas aulas com maior tempo podiam, em princípio, tornar-se cansativas aos alunos, o perfil da turma juntamente com a abertura do professor a discussões, juntamente com as apresentações eletrônicas, permitiu um excelente aproveitamento do tempo disponível, com bastante participação dos alunos.

Na aula de apresentação da unidade, e da primeira sondagem em relação aos conhecimentos prévios dos alunos, já constatamos o que seria uma constante ao longo das próximas aulas, que seria a excelente participação dos alunos, por vezes sobre assuntos bastante tangenciais ao foco da aula em questão, como veremos. Como planejado, após apresentar a estrutura da unidade a ser trabalhada ao longo das aulas, com a apresentação do site onde os alunos poderiam encontrar todos os textos (também oferecidos a eles em meio físico) e apresentações eletrônicas, o professor coletou algumas primeiras ideias dos alunos acerca da atividade científica. Primeiramente foi perguntado simplesmente “o que é ciência”, e na sequência sobre como funciona a ciência ou quais são suas características. Os alunos fizeram muitas colocações, e o professor, sem fazer nenhuma interferência em relação a essas, colocou algumas mais consensuais no quadro. O resultado é apresentado na tabela a seguir.

Tabela 11 – Algumas ideias dos alunos da turma A sobre a ciência.

O que é ciência	Como a ciência funciona
<ul style="list-style-type: none"> - É uma busca por novos conhecimentos - Conhecimento sobre a vida - Como tudo funciona 	<ul style="list-style-type: none"> - Observação da realidade - Experimentação – separa os fenômenos e aprofunda em um conjunto

<ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento organizado - Parte específica do conhecimento que atingimos com a observação da realidade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Generalização das conclusões - Aplicações de regras e leis - Segue uma metodologia - Observação-imaginação-curiosidade (pode ser qualquer ordem) - O cientista faz uma pergunta, formula e testa hipóteses – se a hipótese é verdadeira, acabou o trabalho e vira uma lei.
--	--

Embora seja possível identificarmos alguns termos que poderíamos considerar adequados para caracterizar a ciência (como a imaginação, e a formulação e tese de hipóteses), no todo esses termos acabam por formar um esboço que tende mais a um senso comum de atividade científica, como a noção de observação da realidade para se produzir leis, passando por uma metodologia que permite a generalização de conclusões.

Essa atividade objetivou apresentar aos alunos, com suas próprias colocações a respeito, algumas noções que seriam trabalhadas ao longo das discussões. Tendo ciência dessas colocações dos alunos, o professor conduziria então as discussões de modo a contemplar os principais aspectos colocados, como os citados acima. Ao término dessa atividade, o professor forneceu então o texto 1 aos alunos, sugerindo alguns procedimentos de leitura, como sublinhar pontos considerados centrais e a realização das atividades de compreensão, ao final do texto.

Na aula seguinte, de discussão do texto 1, o professor começa a discussão dos assuntos por meio da apresentação eletrônica, discutindo pausadamente o tema de cada slide com os alunos. Após o término dessa aula, o próprio professor informou o pesquisador de que pensava ter sido muito minucioso e concedido muito tempo para assuntos levantados pelos alunos. Concordamos então que ele poderia aumentar o grau de aproveitamento do tempo disponível para as discussões mais caras ao proposto, mas com o cuidado constante de não “cortar” o aluno em suas questões. Como depois conversaríamos na entrevista, verificamos que é necessário que se trabalhe em um ponto ótimo entre a curiosidade do aluno sobre temas tangenciais aos assuntos discutidos e o andamento do planejado para a presente aula.

Voltando à referida aula, os alunos demonstraram, em sua maioria, terem lido o texto, a julgar pelas constantes respostas às perguntas do professor. O professor pergunta qual a ideia central do primeiro texto, se os alunos tinham alguma visão nesse sentido, e de modo geral os alunos disseram acertadamente que se tratava da formulação de hipóteses para

explicar alguns fenômenos naturais, e como podíamos saber se essas hipóteses são “boas”, nas palavras do professor. Quando o professor pergunta sobre Aristarco, muitos alunos respondem que foi “o cara que disse primeiramente que o Sol estava no centro do movimento de translação da Terra e dos outros planetas”. Os alunos entenderam muito bem as diferenças básicas entre o geocentrismo e o heliocentrismo, incluindo suas explicações para o movimento retrógrado.

O professor se detém por um tempo considerável na questão das possíveis argumentações em relação a uma suposta Terra em movimento, o que, segundo os opositores dessa ideia, produziria fenômenos perceptíveis, como na queda dos objetos “para trás”.

Um aluno diz, sobre a influência de Aristóteles, que não deveríamos nos deixar influenciar pelo “status” de uma pessoa, do que outros alunos disseram que é difícil evitar isso. E entenderam como uma Terra parada é muito mais “lógica” aos nossos sentidos imediatos.

Quando o professor estava comentando sobre o geocentrismo e seus epiciclos (no modelo simplificado trabalhado com os alunos), uma aluna questiona a respeito da ordem dos planetas representados (e porque o Sol aparecia como o quarto corpo celeste), ponto em que o professor comenta que não sabia exatamente, mas provavelmente era devido ao movimento constatado para esses planetas, e como o modelo provavelmente teria sofrido diversas alterações até “se encaixar” suficientemente ao que era observado.

No momento de falar sobre as hipóteses ad hoc, o professor comenta sobre uma porção da parede que estava pintada de uma outra cor, e os alunos começaram imediatamente, sem se perceberem no momento, a formular algumas possíveis explicações. Do que o professor conseguiu construir adequadamente a noção de hipótese ad hoc em relação a esse problema, e como se poderia testar essas hipóteses²⁶. Os alunos perceberam naturalmente como elaborar hipóteses é parte necessária e não suficiente para resolver o problema, uma vez que se tinha diversas explicações construídas para o fato de a parede estar diferente em um pedaço da sala. Em pouco tempo os alunos já estavam usando as hipóteses

²⁶ Uma hipótese ad hoc, como vimos no capítulo 2, responde à uma teoria, ou seja, é uma hipótese sem vínculo a evidências que resultem necessariamente nessa hipótese, que busca o ajuste de uma teoria com os fenômenos observados. Nesse exercício realizado pelo professor, temos apenas uma ilustração desses ajustes, compreensivelmente sem uma maior sistematização em relação a um núcleo firme e um cinturão protetor.

ad hoc em seus discursos, na discussão sobre os dois diferentes sistemas, geocêntrico e heliocêntrico.

O professor segue com a apresentação eletrônica, de modo bastante consoante com o texto. Ao final da aula o professor entrega o segundo texto aos alunos, enfatizando que também está disponível no site sugerido. Após esse e os demais encontros com a turma, o professor se reuniu com o pesquisador para avaliar a aula recém ministrada, e perpassar a apresentação eletrônica da aula seguinte, slide a slide, para contemplar qualquer dúvida ou apontamento do professor.

Na aula de discussão do texto 2, o professor começa a aprofundar o papel das hipóteses ad hoc no crescimento de teorias, e os alunos, mesmo antes de o professor chegar especificamente nesse ponto, citam como essas hipóteses devem ser testadas, e como o resultado desses testes irão depor a favor ou contra a teoria principal, com a noção de progressão ou regressão, passando pelo conceito de anomalias e força heurística.

Na continuidade da aula, os alunos ficaram espantados por Vênus apresentar fases, semelhantemente à nossa Lua. Os alunos acharam bastante interessante as constatações de Galileu, e no momento da discussão sobre os satélites de Júpiter, uma aluna comenta sobre como seria bonito o céu desse planeta para um suposto habitante, que veria ao menos os quatro maiores satélites. De modo geral, os alunos compreenderam como Galileu traz novas considerações a favor do heliocentrismo, mas ainda faltavam, à época, maneiras de se decidir por um ou outro sistema, uma vez que não se tinha uma teoria estabelecida que conseguisse prever novos fenômenos, elemento importante dentro da dinâmica da epistemologia trabalhada com os alunos.

Quando o professor pergunta sobre a “capacidade de prever novos fenômenos”, os alunos prontamente identificam com o conceito de força heurística, e como os estudos de Newton possibilitariam uma nova abordagem dos movimentos celestes, com um grau de concordância, entre a explicação teórica e as observações da época, jamais obtido até então.

No momento da discussão sobre Kepler, o professor fez algumas considerações bastante procedentes em relação às elipses, por exemplo, mostrando os cuidados para se “ler” os desenhos que normalmente aparecem em livros e mesmo no texto 2, sobre como esses movimentos são sutis no caso da maioria dos planetas. O professor também enfatizou que o Sol, que se encontra no foco da elipse, se considerarmos as reais dimensões do sistema, está na realidade praticamente em seu centro, ou muito próximo desse. Os alunos ficaram espantados pelo grau de exatidão conseguido apenas com dados de posição dos corpos (Tycho Brahe), e por saber que esses dados foram obtidos antes do uso dos telescópios.

O professor segue com bastante ênfase a argumentação do canhão de Newton, e como uma física terrestre, que estava sendo estabelecida pelo próprio Newton, podia ser usada para se entender fenômenos celestes, superando a divisão aristotélica que existia até então. O professor chega então na parte onde é caracterizada a Natureza da Ciência trabalhada com os alunos, com seus elementos principais ilustrados pela progressão da Gravitação newtoniana. Mantendo sempre o caráter dialógico das aulas, os alunos foram completando as afirmações do professor, mesmo envolvendo os conceitos específicos da Natureza da Ciência. Ao término da aula o professor entrega o terceiro e último texto aos alunos, com as orientações de praxe.

O professor faz, na aula seguinte, uma breve revisão dos principais conceitos discutidos na aula anterior, já introduzindo os conceitos a serem discutidos na presente aula, sobre como a Gravitação newtoniana acaba chegando em um momento de regressão, mesmo passando por diversos sucessos explicativos.

Os alunos interessantemente questionam a respeito de Vulcano, sobre como sabemos que ele não existe. O professor comenta sobre como, apesar de já termos uma boa capacidade experimental (telescópios refletores) no século XIX, nos dias mais recentes um planeta tão “perto de nós” não poderia passar despercebido, e, ainda mais importante, a teoria que surgiria a partir de então, com Einstein, não deixaria lugar para Vulcano, ao conseguir explicar a anomalia de Mercúrio por meio de uma nova teoria da Gravitação, mais abrangente do que a newtoniana. Ou seja, ainda que de modo implícito, o professor traz a questão da progressão da Gravitação einsteiniana e da regressão da newtoniana.

No momento da discussão do princípio da equivalência, os alunos ficaram bastante atentos e interessados, e com as repetições das explicações do professor parecem ter compreendido em boa medida a noção de que esse princípio resulta naturalmente na hipótese de que um raio de luz é “atraído” pela gravidade (no contexto técnico da relatividade, é claro que a noção de atração precisa ser ressignificada). Essa predição passa então a ser um possível elemento de teste da Gravitação de Einstein.

O professor segue, mostrando as diferenças conceituais entre a gravidade de Newton e a gravidade de Einstein, com a noção de espaço curvo, ilustrando por meio dos vídeos presentes na apresentação eletrônica. O professor finaliza com discussão sobre a superioridade da Gravitação einsteiniana, passando por todo o contexto de teste dessa teoria, com Arthur Eddington, ficando os alunos bastante atentos, com os vídeos e animações da apresentação. O professor enfatiza que essa teoria

de Einstein é a que se constitui como a teoria de base para todos os fenômenos cosmológicos, mas que não podemos dizer que é a “verdade final”, uma vez que a dinâmica discutida para as teorias científicas é ininterrupta.

O professor comenta então que, na próxima aula, será feita uma atividade em grupo, descrevendo sucintamente do que se tratava, com os trechos de textos apresentados a cada equipe, para posterior discussão. Essa aula, destinada em grande parte à discussão entre os alunos e entre os grupos, será relatada, juntamente com seus resultados, na seção 6.1, sobre a atividade em grupo.

No encontro seguinte à atividade em grupo foi realizada então a avaliação individual com os alunos, versando sobre situações a respeito de elementos da Natureza da Ciência. Essa avaliação é apresentada no apêndice H. Os resultados obtidos com essa avaliação são apresentados na seção 6.2, sobre o retorno dos alunos.

No encontro seguinte foi feita a devolução das avaliações, e, com a breve retomada das questões com os alunos, percebeu-se que todas as questões, com maior ou menor grau, foram adequadamente contempladas com sua participação. Por fim, o professor perguntou os alunos a respeito de suas impressões a respeito da unidade de ensino como um todo.

5.3.1.2 Turma B

A turma B esteve composta por 32 estudantes, 12 alunas e 20 alunos. Essa turma se demonstrou um pouco mais dispersa ao longo dos trabalhos, em relação à turma A, mesmo isso não significando uma menor participação. Percebemos, nos trabalhos com essa turma, que o professor B não costuma chamar a atenção dos alunos em relação às conversas, e pensamos que por isso a turma, de modo geral, é mais afeita a conversas paralelas. Contudo, uma parcela significativa dos alunos esteve atenta a todos os trabalhos com a unidade de ensino.

No primeiro encontro o professor iniciou a aula apresentando o pesquisador, que por sua vez comentou sobre os interesses com a unidade de ensino a ser trabalhada, e esclareceu os motivos de sua presença em sala. Começando a unidade, o professor pergunta a quanto tempo os alunos estavam estudando ciência, e após algumas falas dispersas dos alunos, complementou jocosamente que “provavelmente desde o pré-escolar”. Então sugeriu que eles se manifestassem a respeito de sua visão, de sua opinião sobre o que seria, e com o que estaria relacionada a ciência.

Para organizar um pouco as falas abundantes e não muito inteligíveis, o professor repete o questionamento e solicita que os alunos sejam ouvidos por fila.

Tabela 12 – Algumas ideias dos alunos da turma B sobre a ciência.

O que é ciência	Como a ciência funciona
<ul style="list-style-type: none"> - Conjunto de conhecimentos para explicar a natureza - Diretamente ou indiretamente explica tudo - É um método - Conhecimento adquirido através de estudo e prática 	<ul style="list-style-type: none"> - Tem observação (registro de fenômenos), - experimentação (repetição, comparação), fato, prova, onde descobre-se leis (universais quando a hipótese é provada, temporárias enquanto isso); -As hipóteses são resultado da experimentação.

O professor pergunta se “tem um jeito de fazer essas coisas” (a atividade científica). Um aluno diz que “o cientista primeiro anota tudo o que ele observou”. Mais uma vez, percebemos, também por outras falas, a concepção esperada da prioridade da observação no fazer científico. Aqui também chama a atenção a noção de que as leis são universais quando a hipóteses são provadas, e que as hipóteses são resultado da experimentação, uma inversão (segundo o que propomos em nosso trabalho) também esperada.

Um aluno comenta sobre um grupo de controle, e que “para saber se a hipótese está certa, tem que repetir várias vezes o experimento”. O professor pergunta retoricamente: “quantas vezes”? E faz a caneta do quadro branco cair algumas vezes, sugerindo provocativamente que essa repetição produz a lei (de queda dos objetos devido à gravidade).

O professor segue: “para falarmos sobre a ciência, falaremos sobre a história da ciência, e o contexto é a Gravitação”. Em certo momento das conversas, alguns alunos perguntam “a opinião” do professor sobre como funciona a ciência, e ele diz que “isso não importa no momento”. No geral, percebemos como algo positivo as tentativas do professor de se manter neutro em relação às conversas realizadas, para permitir que as ideias surgidas tivessem os alunos como fonte, propriamente como era o objetivo.

Como restaram alguns minutos após essas primeiras conversas, o professor solicitou que a leitura do primeiro texto fosse iniciada em sala, fornecendo o mesmo aos alunos e indicando o site onde todos os textos poderiam ser encontrados, juntamente com as apresentações eletrônicas. Parte da turma mantém as conversas, enquanto outra efetivamente

começa a leitura. Por ser a última aula do turno, muitos alunos começam a guardar o material, parando a leitura.

Na aula seguinte, onde a primeira apresentação foi realizada (relativa ao texto 1), constatamos um problema técnico que iria se repetir nos outros dias, mas sem prejuízo considerável ao andamento das atividades, para além de uma pequena modificação na dinâmica de apresentação. Conforme já descrito, as apresentações eletrônicas produzidas para subsidiar as discussões contêm trechos de filmes em vídeo e animações incorporadas, de modo a dinamizar o andamento das apresentações. Mas o único projetor disponível na escola não tinha uma interface HDMI, necessária para se conectar com o computador do pesquisador, e a interface VGA, que seria usada para se conectar com o computador do professor, não estava funcionando, seja por problemas no cabo ou de configuração.

A solução encontrada foi colocar todos os arquivos diretamente no projetor (que é um equipamento multimídia com software próprio), para permitir a projeção dos conteúdos. A apresentação eletrônica foi convertida em um arquivo PDF em forma de slides que, embora tenha mantido com fidelidade todo o conteúdo visual das apresentações, naturalmente impediu a reprodução direta do conteúdo de vídeo. Isso foi facilmente contornado com a exibição dos vídeos a partir do arquivo nativo, sempre que necessário.

Quando o professor perguntou sobre as atividades de compreensão do texto, sobre os sistemas geocêntrico e heliocêntrico e a noção de hipótese ad hoc, ficou evidente que alguns alunos não realizaram a leitura do texto. Isso serviu para acordarmos de que, sempre que possível, a leitura seria ao menos iniciada em sala. Entendemos que isso é algo bastante difícil de contornar, uma vez que não queríamos que os alunos lessem o texto em sala “por obrigação”, ao mesmo tempo que não queríamos estender demasiadamente os trabalhos com a unidade de ensino, fazendo todas as leituras em sala. Mesmo com a apresentação do professor, alguns alunos mantiveram as conversas paralelas, ainda que no todo a turma tenha se mostrado comprometida e interessada.

Na parte da apresentação onde se fala das hipóteses ad hoc, o professor construiu uma argumentação adicional que julgamos interessante. Ele menciona que “o Flamengo é o melhor time do mundo”. E alguns alunos: “Como? Perdeu até pro Figueirense”. O professor continua: “Mas o Juíz roubou, a grama estava molhada, colocaram algo na água dos jogadores do Flamengo, etc.”. Até que um aluno sugere: “[ad hoc] é tipo uma justificativa”. O professor então complementa, dizendo como essas “desculpas” para a perda do Flamengo se constituem como

hipóteses ad hoc, uma vez que intentam tão somente explicar um fenômeno (a perda do jogo), sem maiores indícios para tal. Como se poderia esperar, esse exemplo mobilizou significativamente os alunos, a tal ponto em que não era mais possível entender adequadamente o que era dito, até a organização das falas pelo professor. Ao término dessa aula o professor fornece o texto 2 aos alunos, que iniciam sua leitura em sala.

No encontro seguinte, o professor comenta sobre as questões ao final do texto, e os alunos parecem demonstrar uma maior frequência de leitura, em relação ao texto anterior. A turma está inicialmente bastante atenciosa, e os alunos participam frequentemente ao longo das exposições do professor com os slides. Quando comenta sobre a Gravitação newtoniana, o professor pergunta o que é força heurística, e alguns alunos leem suas respostas, em geral de acordo com o texto. A turma se mostra bastante interessada no experimento mental do canhão de Newton. Quando o professor pergunta sobre a hipótese da existência de um novo planeta, no contexto da descoberta de Netuno, muitos alunos respondem juntos, sobre as hipóteses ad hoc, remetendo a uma boa compreensão dos assuntos discutidos na aula anterior. Os alunos demonstraram uma certa confusão de ideias no início das explicações sobre anomalias e força heurística, mas gradativamente apresentando feições de entendimento ao longo da exposição do professor sobre a progressão. O professor então encerra as discussões e distribui o texto 3 aos alunos, lembrando que todo o material está disponível no site.

No encontro seguinte sobre as discussões do texto 3, os alunos demonstram particular atenção aos vídeos mostrados na apresentação eletrônica. Alguns ficaram bastante curiosos com o filme cujos trechos foram exibidos (“Einstein e Eddington”), do que o professor forneceu a referência. Quando o professor comenta sobre a curvatura do espaço, mostrando o vídeo em questão, uma aluna perspicazmente pergunta sobre o que estaria causando, afinal a “curvatura da toalha é devido à gravidade”. Se a própria gravidade é resultado da curvatura, então o que causa a curvatura? O professor se limitou a dizer que era uma analogia, que as “coisas funcionavam mais ou menos desse jeito”. Pensamos usar, em outras implementações desse material, vídeos que exploram esse fenômeno da curvatura de modo mais tridimensional (afinal a “toalha” espaço-temporal não é uma toalha, estaria mais para uma esponja ou gelatina que engloba todo o corpo celeste). De todo modo, naturalmente sabemos das limitações dessa conhecida analogia, que oculta aspectos mais complexos. Nesse nível de ensino, porém, pensamos que esse tipo de analogia é totalmente inevitável, e mesmo desejável frente a

complexificadores que pudessem comprometer a visão geral do fenômeno, para o aluno.

Na atividade seguinte, sobre as discussões a respeito dos trechos dos livros de física, os alunos estavam um pouco dispersos, não demonstrando muito empenho na atividade, apesar das abundantes conversas e discussões (pouco inteligíveis ao pesquisador). Como o tempo estava escasso para a conclusão dessa atividade, e como os alunos não estavam demonstrando muito empenho para a realização da mesma, os alunos teceram pareceres para alguns dos trechos apresentados. Por exemplo, o grupo B, referente ao trecho 1 (anteriormente citado no item anterior, sobre a turma A), comenta: “*O texto afirma que dotado de intuição, Newton chega a tal teoria, sendo essa parte coerente. Contudo, não foi com a queda de uma maçã que isso aconteceu. Newton pesquisou bastante sobre outros pesquisadores como Kepler e Galileu, e sobre a própria força da gravidade. E através de muitos estudos chegou à [teoria da Gravitação]. [...] Newton conseguiu resolver os problemas que as teorias de outros cientistas não explicavam*”. Essa resposta traz elementos que indicam uma superação de um empirismo ingênuo, juntamente com o caráter coletivo do desenvolvimento da ciência, sendo de boa concordância por parte dos demais alunos.

O grupo D, falando sobre o “método experimental”, supostamente introduzido por Galileu (Grupo D, Trecho 2), apresenta uma argumentação que consideramos inadequada, mencionando que o heliocentrismo teria surgido a partir de observações de alguns fenômenos, como o movimento retrógrado. Ficamos satisfeitos com a intervenção de alguns alunos de outros grupos, que não concordaram com essa colocação e exemplificaram como o heliocentrismo e, mais tarde, a teoria da relatividade, surgiram precipuamente por meio de “especulações”, que mais tarde foram testadas. Ou seja, um bom entendimento do caráter hipotético da atividade científica, onde as observações são direcionadas pelas hipóteses.

Uma aluna comenta que precisa haver uma primeira observação, do que concordamos com a complexidade de se abordar esse tema específico, uma vez que se chega a questões da epistemologia genética, ou seja, a considerações biológicas de interação com a realidade (ver, por exemplo, Maturana e Varela, 1995). Mas no nosso entendimento, e do professor também, como veremos a seguir, existem diversos níveis de teorizações a respeito dos fenômenos, aspectos não contemplados explicitamente em nosso trabalho. O professor comenta com a aluna e com a classe o interessante exemplo a respeito da queda do pincel: “*suponham que queremos encontrar a [aceleração da] gravidade por*

meio de medidas com a queda do pincel, o tempo e a distância de queda. Pergunta: vocês precisam fazer esse experimento com pincéis de cores diferentes? – os alunos afirmam que não precisa – mas por que não precisa? – os alunos respondem que a cor não influencia na queda. Mas como vocês sabem? Percebem, então, que vocês já têm uma teoria antes de realizar o experimento? Vocês já têm uma pré-teoria de que a cor não influencia no experimento”. Os alunos parecem compreender, com esse exemplo, que temos expectativas antes mesmo de fazer a observação da queda do pincel, nesse caso. Essa não foi uma situação pensada para essa unidade de ensino, mas julgamos que toda expectativa pode ser associada a uma proto-teoria, ou uma pré-teoria, ou simplesmente um pré-conceito inconsciente que, por sua vez, pode ser pensado em termos lakatosianos de progressão e regressão. Pensamos que isso possa estar mais presente em outras implementações, ou seja, pretendemos enfatizar a impossibilidade de observações neutras, com exemplos adequados, análogos ao do pincel, por exemplo.

Como a turma começa a progressivamente apresentar um certo descompromisso com a atividade, o professor dá por encerrada a aula, lembrando da realização da atividade avaliativa (questionário) na aula seguinte.

6. Resultados

6.1 A atividade em grupo

Na aula anterior à implementação da atividade avaliativa (questionário aos alunos, apêndice H), os alunos da turma A realizaram uma atividade em grupo que consistia na avaliação de trechos a respeito da Natureza da Ciência, presentes em alguns livros didáticos (Pagliarini, 2007), conforme descrevemos a seguir. Essa atividade não pôde ser realizada adequadamente com a turma B, em função do tempo disponível para a implementação da unidade de ensino, embora esse professor tenha perpassado alguns dos trechos selecionados coletivamente com a turma, conforme relatamos anteriormente.

Para a realização dessa atividade, os alunos da turma A se dividiram em 5 grupos, cada grupo recebendo uma folha com dois trechos de livros didáticos de física versando sobre algum aspecto da atividade científica, na visão do autor (apêndice F). A equipe deveria ler com atenção e discutir o que era afirmado, emitindo um parecer sobre sua visão a respeito. Os alunos não foram instruídos a respeito de como deveria ser esse parecer, ou seja, se deveria conter necessariamente os elementos discutidos em sala, embora, naturalmente, com essa atividade pretendemos avaliar se eles mobilizariam esses conhecimentos.

Após a deliberação das equipes, alguns representantes de cada uma fizeram a leitura de seu parecer para toda a turma, que poderia também se manifestar a respeito. Percebemos um bom envolvimento da turma com essa atividade, embora tenhamos notado que o envolvimento maior tenha sido durante o debate inicial a respeito dos textos, diminuindo um pouco na hora da socialização geral, mas muito provavelmente devido à “monopolização” da atividade por um conjunto de alunos mais participativos (ou ávidos em participar). De todo modo, como percebemos na atividade avaliativa, isso não se refletiu no desempenho geral da turma em relação aos principais elementos discutidos ao longo da unidade de ensino. Não sem surpresa, foi necessário que o professor gerenciasse com atenção essa atividade, para permitir que o maior número de alunos participasse.

Os resultados dessa atividade foram, de modo geral, bastante positivos, com os alunos discutindo eloquentemente. Apresentamos nos quadros a seguir alguns trechos dos pareceres redigidos por cada grupo.

Para facilitar o acompanhamento dos pareceres apresentados, reproduzimos inicialmente os trechos oferecidos a cada grupo.

Quadro 3 – Pareceres do grupo A.

<p>Trecho 1</p> <p><i>Os cientistas, cada qual com os métodos de pesquisa da época e do lugar, observam sistematicamente os fenômenos da natureza, tomam dados sobre as grandezas físicas envolvidas e induzem as leis ou princípios. Eles procuram estabelecer regras gerais para as explicações dos acontecimentos naturais (SHIGEKIYO et al., 1993, p. 10).</i></p>
<p>Parecer do grupo</p> <p><i>Muitas ideias do autor “revelam” que o método de pesquisa pode ser muito abrangente, já que o saber científico pode variar e ocorrer através da questão problema, observação e teoria. Contudo, muitas teorias que sabemos hoje não foram baseadas dessa maneira, [como por exemplo] a teoria da relatividade geral, criada por Einstein, teve como princípio a criação da teoria e depois a observação do fenômeno. [...]. Ao repensarmos como ocorre a “criação” do saber científico (regras, teorias, leis) chegamos à conclusão que os métodos empregados podem variar de acordo com a pesquisa que está sendo realizada e de acordo com o pesquisador que a está executando. [...]. Concordamos plenamente que o saber científico pode variar de acordo com a época e lugar.</i></p>
<p>Comentários</p> <p>Exemplificação oportuna da teoria de Einstein, onde o grupo parece ir adequadamente de encontro à parte do trecho que fala sobre a indução das leis a partir dos dados das observações, e boa concordância em relação ao aspecto temporal e local dos métodos da ciência.</p>
<p>Trecho 2</p> <p><i>[...] à medida que o ser humano aprofunda o seu conhecimento da natureza, torna-se necessário aprimorar o saber científico, o que exige contínua atualização e reformulação dessa forma de conhecimento. Por essa razão, a ciência não tem verdades definitivas ou dogmas. Todas as teorias e leis e todos os princípios científicos são provisórios, valem durante algum tempo e em determinadas condições (GASPAR, 2004, p. 12).</i></p>
<p>Parecer do grupo</p> <p><i>[...] O saber científico deve-se aprofundar em uma teoria ou lei já existente, para verificar se a mesma é capaz de responder [determinados problemas], ou caso contrário reformulá-la para responder a pergunta e caso isso não venha acontecer novamente uma nova lei ou teoria deve ser criada para responder o porquê que determinada coisa ocorre na natureza. [...] Mesmo que exista uma teoria capaz de explicar grande parte dos fenômenos naturais, ainda restarão [questões a serem respondidas]. [Essas questões] só serão respondidas com o aprimoramento da teoria já existente ou com a criação de uma nova capaz de responder as mesmas questões da anterior, contudo essa por sua vez será responsável por responder aquelas que estavam sem explicação até o momento. [...] Concordamos com as ideias propostas [pelo autor], em especial com a que diz que a ciência não possui verdades definitivas ou dogmas.</i></p>

Comentários

O grupo expõe com boa desenvoltura a noção de provisoriedade das teorias, concordando adequadamente com o texto (que consideramos adequados em relação aos elementos da natureza tratados em nosso trabalho). Consideramos oportuno mencionar que não consideramos (e a unidade de ensino procurou tratar disso) que essa provisoriedade seja vista de modo a sugerir um possível relativismo, deletério às nossas intenções. Vemos a provisoriedade como uma questão de contínuo aperfeiçoamento (com a substituição, se for o caso) de nossas formas de questionamento e resposta, e não dos sucessos explicativos já obtidos, ou seja, de modo geral não desaprendemos o que já sabemos (embora ressignifiquemos seus conceitos em algumas situações).

Quadro 4 – Pareceres do grupo B.

Trecho 1

Dotado de uma notável intuição, que lhe permitiu estabelecer a Lei da Gravitação Universal – que explica os movimentos dos astros – a partir da simples queda de uma maçã, o genial matemático inglês [Newton] inventou o cálculo diferencial e integral, para que seus princípios não fossem meras suposições (FERRARO et al., 1996, p. 166).

Parecer do grupo

Esse grupo se limitou a apresentar os tópicos a serem usados como referência para a apresentação oral, para a turma. Apresentamos seus principais itens:

- *A Gravitação foi elaborada a partir de experimentos [...], não a partir da maçã.*
- *O cálculo diferencial foi o embasamento para a Gravitação (e a maçã não foi o que gerou esses cálculos).*

[Portanto] discordamos do texto.

Comentários

O grupo identificou adequadamente a ignomínia a respeito da maçã, embora tenha faltado uma melhor argumentação a respeito.

Trecho 2

Embora seja comum falar em um método científico, composto de uma série de procedimentos que possibilitariam novas descobertas, é pouco provável que alguma descoberta científica o tenha seguido com rigor. A ideia de que hipóteses e teorias surjam da observação dos fatos ou da experimentação não é verdadeira. Que fatos? Que experiências? A seleção de determinados fatos ou a realização de determinadas experiências indicam que, na verdade, as hipóteses e as teorias a investigar já existem. Em outras palavras, as experiências são feitas ou os fatos são observados em razão de alguma hipótese teórica previamente formulada. Dessa forma, uma nova teoria pode dar a um fato cientificamente corriqueiro, como um eclipse solar, uma importância excepcional. É o caso do eclipse solar que, em 1919, trouxe dezenas de cientistas de todo o mundo a Sobral, cidade do Ceará, local privilegiado para a observação daquele eclipse. O objetivo era verificar se a luz sofre

*atração gravitacional, fenômeno chamado na época de **desvio de Einstein**, previsto na sua então recém-formulada Teoria da Relatividade Geral. [...] Esse desvio de luz ao passar junto ao Sol já havia ocorrido centenas de vezes, em todos os eclipses solares anteriores, mas nunca havia sido observado, até uma previsão teórica dirigir a atenção para ele. Não é a observação que origina a teoria, mas, como o próprio Einstein dizia, 'é a teoria que decide o que deve ser observado'* (GASPAR, 2004, p. 13, grifos do autor).

Parecer do grupo

- *A observação crítica depende da teoria e do seu entendimento da realidade.*
- *A observação dos fatos pode vir a gerar dúvidas ou saná-las, portanto a observação e a criação de uma hipótese de explicação para o que é observado pode ser dar em qualquer ordem.*

[Portanto] concordamos parcialmente com o trecho.

Comentários

Da mesma forma que o grupo em relação ao trecho, concordamos parcialmente com suas colocações. O grupo parece concordar com a essência do texto, sobre a predeterminação da observação pelas teorias, segundo sua primeira colocação. Mas tece uma complementação um pouco incoerente com sua primeira colocação, embora seja possível entrever a noção de que observações e “hipóteses de explicação” [teorias] formam um sistema complexo de relação, do que podemos considerar como algo adequado. O trecho traz um exemplo justamente do contexto das discussões feitas em sala, do que esperávamos, desse grupo, um parecer mais completo.

Quadro 5 – Pareceres do grupo C.

Trecho 1

A demonstração do Teorema de Newton sobre as forças centrais e as áreas percorridas, nada tem a ver com infantis 'inspirações poéticas' em torno da queda das maçãs. Baseia-se, isto sim, em análise algébrica avançada! Contra o mito do mero observador sagaz e intuitivo, a realidade nos mostra Newton como um matemático de grandes qualidades. Ele não só se apoiou em pesquisas anteriores, mas foi capaz de renová-las e ampliá-las, usando para isso grande dose de imaginação e criatividade (TALAVERA, 2005, p. 67).

Parecer do grupo

[...] O grupo acredita que a parte sobre [a queda das maçãs] está certa, pois Newton não apenas teve que fazer observações [críticas], mas também se fez necessário a utilização da matemática, para explicar tais acontecimentos. Concordamos então que dizer que Newton criou as coisas pela queda da maçã acaba sendo uma desvalorização do seu trabalho. [...] Newton criou um programa de pesquisa [...], onde tentou responder o porquê das coisas agirem [como agiam]. Além do mais, ele criou hipóteses e as testou, [confirmando] as Leis de Kepler e originando a Lei da Gravitação Universal.

Comentários

O grupo concorda adequadamente com a superação da anedota da maçã, sugerindo que a mesma desvaloriza o trabalho de Newton, o que consideramos muito importante. Apesar de

<p>limitada, houve a tentativa de expor a Gravitação como um programa progressivo de pesquisa. Boa concordância com o trecho 1, portanto.</p>
<p>Trecho 2</p> <p><i>A física estuda determinados fenômenos que ocorrem no Universo. O método que utiliza para conhecer esses fenômenos é simplificada e o seguinte: observa repetidas vezes o fenômeno destacando fatos notáveis. Utilizando aparelhos de medida, desde o relógio para medir o tempo e a fita métrica para medir comprimentos, até instrumentos mais sofisticados, determina a medida das principais grandezas presentes no fenômeno. Com essas medidas procura alguma relação existente no fenômeno, tentando descobrir alguma lei ou princípio que o rege. Eventualmente essas leis ou princípios são expressos por fórmulas [...]. Em resumo, o método da apreensão do conhecimento da Física é o seguinte: a) observação dos fenômenos, b) medida de suas grandezas, c) indução ou conclusão de leis ou princípios que regem os fenômenos. Esse método de conhecimento é denominado método experimental (FERRARO et al., 1991, p. 3, grifo do autor).</i></p>
<p>Parecer do grupo</p> <p><i>O segundo trecho apresenta uma enumeração dos passos do método experimental, [algo que] não há concordância no grupo. [...] Não é possível enumerar os passos das atividade científica como sendo uma única forma correta. [...] Esses passos variam, dependendo do caso analisado. [...] O grupo concorda que a física não possui apenas o método experimental para a compreensão dos fenômenos do universo, mas pode utilizar também outras formas e métodos para a compreensão dos mesmos.</i></p>
<p>Comentários</p> <p>Apesar de o grupo tecer alguns comentários gerais, sem um maior detalhamento a respeito das afirmativasd, em seu todo parece discordar com o texto que, naturalmente, consideramos inadequado a respeito do “método da física”.</p>

Quadro 6 – Pareceres do grupo D.

<p>Trecho 1</p> <p><i>Frequentemente ouvimos falar, de um modo bastante questionável, num método científico, como se houvesse um método único e seguro que se aplicasse a todas as ciências. Infelizmente, porém, as coisas não são tão simples. Há um ramo da Filosofia, denominado Filosofia da Ciência, que se preocupa em estudar, entre outros temas, a questão do método científico, e até agora não há unanimidade entre os filósofos sobre essa questão. [...] Tudo indica que há, na realidade, vários métodos; [...] Fazendo-se um estudo dos caminhos seguidos pelos físicos em um grande número de casos, verifica-se que não há uma receita dentro da qual se encaixem todos esses caminhos (SAMPAIO & CALÇADA, 2001a, p. 19-20, grifo do autor).</i></p>
<p>Parecer do grupo</p>

Concordamos com o texto pois não existe uma “receita” única ou um conjunto de passos infalíveis para se chegar a um resultado. Na realidade, existe uma variedade de métodos e meios que precisam ser moldados conforme o objetivo a ser alcançado.

Comentários

Parecer sucinto, embora adequadamente concordante com o texto. Ao longo das apresentações para a turma, os grupos se utilizaram de alguns exemplos discutidos ao longo da unidade de ensino, mas em geral não trouxeram esses exemplos para o parecer escrito (que foi entregue ao professor).

Trecho 2

O estudo científico dos movimentos dos corpos deve-se a Galileu Galilei (1564-1642), que introduziu em Física o método experimental. Este consiste em observar os fenômenos, medir suas grandezas e estabelecer as leis físicas que os regem (FERRARO et al., 1996, p. 158, grifo do autor).

Parecer do grupo

Não concordamos com a afirmação pois acreditamos que Galileu não introduziu o método experimental e sim, [popularizou] ele. Galileu tentou [experimentalmente] alcançar respostas mais palpáveis e provas matemáticas. [Achamos] sensacionalista atribuir o estudo dos movimento dos corpos apenas a Galileu, visto que outros cientistas também contribuíram para essas descobertas.

Comentários

O grupo fez considerações procedentes a respeito de Galileu, mas não percebeu o cerne do trecho, sobre o “método experimental”. A redação do referido trecho acaba se eximindo da inadequação total, ao não expor explicitamente as “leis físicas” citadas como resultado imediato da observação, embora seja difícil salvar sua intenção como um todo. O grupo não trouxe essa consideração, embora a turma a tenha identificado adequadamente.

Quadro 7 – Pareceres do grupo E.

Trecho 1

Ao observar a queda de um corpo, se você é dotado de espírito crítico poderá perguntar: Por que o corpo cai? Há mais de dois séculos atrás, ao observar uma maçã cair, Isaac Newton respondeu a esta pergunta, afirmando que era devido à força de atração exercida pela Terra (UENO & YAMAMOTO, 1982, p. 232).

Parecer do grupo

O grupo concorda em parte com a afirmação [...], porém não podemos passar todo o mérito para a maçã, desvalorizando assim vários anos de estudos de Newton, como muitos autores fazem, cometendo um grande erro.

Comentários

<p>Não ficou muito claro o porquê de o grupo concordar em parte, embora sua sucinta resposta indique a superação da visão anedótica da descoberta da gravidade.</p>
<p>Trecho 2</p> <p><i>Você teria uma ideia inicial de como descobrir tais leis da natureza? Segundo Lord Kelvin, famoso físico inglês do século XIX, ‘quando você puder medir aquilo do que estiver falando e conseguir expressá-lo em números, você conhecerá alguma coisa sobre o assunto...’ (ARRUDA & ANJOS, 1993a, p. 2, grifo do autor).</i></p>
<p>Parecer do grupo</p> <p><i>As leis da natureza são feitas [...] notando-se se há um padrão e depois inserindo números e fórmulas para expressar e justificar tal fenômeno. Assim, surgem as leis naturais que explicam [...] não apenas o fenômeno, mas também seus apêndices. Estas leis são consideradas [corretas] até que elas não consigam justificar determinado fenômeno, e então assim começa a formulação de outra lei que explique e seja plausível para todos os apêndices de um fenômeno.</i></p>
<p>Comentários</p> <p>O grupo não expôs adequadamente seu entendimento a respeito de como são “feitas as leis da natureza”, mas trouxe uma compreensão adequada a respeito das leis já obtidas, com sua potencial alteração em caso de anomalias (os “apêndices”, como usado pelo grupo, significando ainda “fenômenos adicionais”). Consideramos esse trecho como o mais “codificado”, não transparecendo explicitamente seus propósitos. Nossa pretensão era que fosse identificada a noção de que medidas denotam o conhecimento que se tem dos fenômenos, que o texto traz de forma um pouco velada na citação feita. De todo modo, pensamos que a compreensão a respeito da otimização das teorias, sugerida pelo grupo, contempla em parte a noção de que as medidas denotam o conhecimento científico.</p>

6.2 O retorno dos alunos

No penúltimo encontro foi realizada uma atividade avaliativa individual, para um maior retorno em relação às aprendizagens esperadas pelos alunos. Ambos os professores participantes da pesquisa acharam por bem considerar o resultado dessa avaliação como um indicador a ser incluído nos registros habituais de notas dos alunos, ao longo do semestre. Julgamos essa escolha acertada, para uniformizar essa atividade em relação ao andamento dos conteúdos previstos para o semestre, ou seja, apesar de essa unidade de ensino ser diferenciada em seu propósito e conteúdos trabalhados, ela se constitui como possível inclusão (como de fato é nossa intenção) no andamento de qualquer classe de física do Ensino Médio, por meio da intenção de qualquer professor interessado em trabalhar os assuntos presentes na unidade.

Houve algumas diferenças na implementação dessa atividade avaliativa, em relação às diferentes turmas, em função e seus perfis. A turma A realizou essa atividade totalmente sem consulta, ou seja, os alunos contaram “apenas” com seus conhecimentos aprendidos ao longo das discussões para realizar a avaliação. Já os alunos da turma B confeccionaram um resumo pessoal de uma folha, sendo sua consulta permitida ao longo da atividade avaliativa. O professor B achou por bem realizar esse procedimento em função da insegurança da referida turma, que, em relação à turma A, não foi muito colaborativa, ao menos de forma geral, uma vez que alguns alunos foram bastante ativos e atenciosos.

Ainda, o professor B utilizou uma avaliação que era uma versão anterior desse documento, mas que era essencialmente a mesma avaliação implementada pelo professor A, apenas com duas afirmativas a menos na primeira questão, como mostramos nos resultados gerais para as duas turmas (tabelas 13 e 14).

Para estabelecer um critério de valoração de modo a permitir que pudéssemos avaliar de alguma forma as aprendizagens esperadas, fizemos uma categorização para cada resposta, como se segue:

1. Quando a resposta não se relaciona claramente com o pretendido para a questão, categorizamos essas como “*respostas inconclusivas*”. Ao lermos todas as respostas, sentimos a necessidade de criar essa categoria para classificar aquelas que, mesmo com alguma coerência, não respondem à questão.
2. Quando julgamos a resposta do aluno inadequada em relação aos aspectos pretendidos para o tema em discussão, usamos a categoria “*indício fraco*”. Ou seja, atribuímos um indício fraco de aprendizagem a essas respostas.
3. Quando a resposta contém alguma inconsistência, mas demonstra, em seu todo, aspectos considerados adequados em relação ao pretendido, atribuímos um “*indício moderado*”.
4. Por fim, quando a resposta demonstra uma boa desenvoltura, estando significativamente próxima ao pretendido para a questão, usamos um “*indício forte*”.

Apresentaremos a seguir as questões e respectivas intencionalidades para cada uma, e discutiremos os resultados obtidos, juntamente com trechos representativos de cada categorização. Para nos referirmos a cada aluno, usaremos uma notação simples que indica o número do aluno em uma listagem do total de alunos das turmas, seguido dessas, ou seja, o aluno 18A é o aluno 18 da turma A, o aluno 06B é o aluno 6 da turma B, etc.

Enfatizamos que essas categorizações refletem a visão do pesquisador nesse sentido, uma subjetividade que, naturalmente, é inevitável em qualquer avaliação desse tipo.

As questões oferecidas aos alunos por meio de questionário (apêndice H), visando a mobilização individual de seus conhecimentos, versam sobre aspectos da Natureza da Ciência discutidos ao longo da unidade de ensino. Preferimos fazer a apresentação das intencionalidades das questões junto aos resultados para uma maior coesão textual, entre as questões e as respostas dos alunos.

Após a leitura atenta de todas as respostas dos alunos para posterior categorização, excluímos cinco questionários da turma A e seis da turma B, por conterem questões em branco e muitos problemas de coerência. Consideramos que os vinte e nove questionários efetivamente categorizados na turma A, e os vinte e seis na turma B, representaram em boa medida os perfis dessas turmas.

Os resultados gerais obtidos com a turma A, a partir da categorização realizada conforme descrito anteriormente, são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 13 – Resultados gerais a partir da categorização realizada para as respostas dos alunos da turma A ao questionário.

	Respostas inconclusivas	Índicio fraco	Índicio moderado	Índicio forte
Questão 1 – a) Os antigos gregos se destacaram na história por suas tentativas de explicar a natureza sem recorrer à mitologia, o que ocasionou teorias corretas para os fenômenos observados no céu.	6	3	15	5
Questão 1 – b) Experimentos servem para provar uma teoria.	4	7	16	2
Questão 1 – c)	4	4	13	8

O movimento retrógrado é uma evidência que pode ser utilizada a favor tanto do geocentrismo quanto do heliocentrismo, o que mostra como a observação dos fenômenos naturais não é suficiente para construirmos teorias científicas.

Questão 1 – d)

O cientista, normalmente trabalhando sozinho, observa o mundo e elabora teorias a partir dos dados observados.

1	1	22	5
---	---	----	---

Questão 1 – e)

O sistema geocêntrico foi abandonado porque não conseguia explicar nenhum dos fenômenos observados, como o movimento retrógrado e o movimento diário do Sol e da Lua.

1	2	14	12
---	---	----	----

Questão 1 – f)

As teorias científicas direcionam nosso olhar para a natureza, ou seja, muitas descobertas científicas na verdade são resultado de uma indicação da teoria, como a descoberta do planeta Netuno.

4	1	19	5
---	---	----	---

Questão 1 – g)

O método científico, que os cientistas seguem, consiste em: a) observação dos fenômenos, b) medida de suas grandezas, c) constatação de padrões e d) indução das leis e teorias científicas.

1	4	20	4
---	---	----	---

Questão 2

O texto abaixo contém afirmativas inadequadas e também afirmativas adequadas em relação à Natureza da Ciência, de acordo com os assuntos discutidos. Localize cada uma e justifique sua escolha.

Ao longo da história da ciência, um dado fenômeno natural foi explicado por diferentes teorias. Mas chega um momento onde uma dessas teorias se mostra superior, fazendo com que outras sejam abandonadas. Uma teoria é abandonada quando surge uma anomalia, ou seja, quando algum dado discordante mostra que a previsão teórica está errada, indicando que a teoria então também está errada. Quando uma previsão é confirmada, a teoria passa a ser provada, passando a ser uma lei inquestionável.

2	0	18	9
---	---	----	---

Questão 3

Diga o que você entende por hipótese ad hoc, elaborando alguns exemplos. Hipóteses ad hoc são

2	0	15	12
---	---	----	----

desejáveis ou indesejáveis para as teorias científicas? Comente.				
Questão 4 Diga o que você entende por força heurística, e exemplifique no caso da Gravitação de Newton e da Gravitação de Einstein.	3	3	11	12
Questão 5 Ao longo da história da ciência, frequentemente diferentes explicações foram dadas para os fenômenos naturais, fazendo surgir teorias rivais, ou seja, que concorrem para a explicação de um mesmo conjunto de fenômenos. Imagine-se sendo um “juiz” ou “juíza” que precisa escolher entre teorias concorrentes. Comente a respeito de quais elementos você usaria para decidir qual delas é melhor.	6	1	16	6
Questão 6 Os elementos descritos por você, na questão anterior, garantem a escolha pela teoria mais correta ou verdadeira? Comente.	5	2	18	4

O questionário implementado na turma B tem uma pequena diferença, apenas a supressão de dois itens na primeira questão, conforme já comentado. Os resultados gerais dessa turma são mostrados na tabela que se segue.

Tabela 14 – Resultados gerais a partir da categorização realizada para as respostas dos alunos da turma B ao questionário.

	Respostas inconclusivas	Índice fraco	Índice moderado	Índice forte
Questão 1 – a) Os antigos gregos se destacaram na história por suas tentativas de explicar a natureza sem recorrer à mitologia, o que ocasionou teorias corretas para os fenômenos observados no céu.	4	1	16	5
Questão 1 – b) Experimentos servem para provar uma teoria.	2	7	11	6
Questão 1 – c) O movimento retrógrado é uma evidência que pode ser utilizada a favor tanto do	4	1	11	10

geocentrismo quanto do heliocentrismo.

Questão 1 – d)

O sistema geocêntrico foi abandonado porque não conseguia explicar nenhum dos fenômenos observados, como o movimento retrógrado e o movimento diário do Sol e da Lua.

2 1 11 12

Questão 1 – e)

As teorias científicas direcionam nosso olhar para a natureza, ou seja, muitas descobertas científicas na verdade são resultado de uma indicação da teoria, como a descoberta do planeta Netuno.

3 1 18 4

Questão 2

O texto abaixo contém afirmativas inadequadas e também afirmativas adequadas em relação à Natureza da Ciência, de acordo com os assuntos discutidos. Localize cada uma e justifique sua escolha.

Ao longo da história da ciência, um dado fenômeno natural foi explicado por diferentes teorias. Mas chega um momento onde uma dessas teorias se mostra superior, fazendo com que outras sejam abandonadas. Uma teoria é abandonada quando surge uma anomalia, ou seja, quando algum dado discordante mostra que a previsão teórica está errada, indicando que a teoria então também está errada. Quando uma previsão é confirmada, a teoria passa a ser provada, passando a ser uma lei inquestionável.

2 0 15 9

Questão 3

Diga o que você entende por hipótese ad hoc, elaborando alguns exemplos. Hipóteses ad hoc são desejáveis ou indesejáveis para as teorias científicas? Comente.

0 1 12 13

Questão 4

Diga o que você entende por força heurística, e exemplifique no caso da Gravitação de Newton e da Gravitação de Einstein.

0 1 12 13

Questão 5

0 2 15 9

Ao longo da história da ciência, frequentemente diferentes explicações foram dadas para os fenômenos naturais, fazendo surgir teorias rivais, ou seja, que concorrem para a explicação de um mesmo conjunto de fenômenos. Imagine-se sendo um “juiz” ou “juíza” que precisa escolher entre teorias concorrentes. Comente a respeito de quais elementos você usaria para decidir qual delas é melhor.

Questão 6

Os elementos descritos por você, na questão anterior, garantem a escolha pela teoria mais correta ou verdadeira? Comente.

2

7

13

4

Importante mencionar que as respostas escolhidas como representativas de cada categorização realizada não representam em quantidade o total de respostas em cada categoria, ou seja, não pretendemos usar um número de exemplos em relação a um dado percentual de respostas com diferentes indícios de aprendizagem, conforme as tabelas 13 e 14 apresentadas. Assim, para ser ter uma imagem do todo, em relação às diferentes categorias de todas as respostas analisadas, apresentamos nos quadros A e B a seguir os resultados de todas as questões, para cada turma. Esse quadro permite ainda identificar as avaliações das respostas de um mesmo aluno.

Quadro 8 – Resultados por aluno a partir da categorização realizada para as respostas dos alunos da turma A ao questionário. “0” indica uma resposta inconclusiva, “-” indica um indício fraco de aprendizagem, “+” indica um indício moderado e “++” indica um indício forte.

Quest.	1a)	1b)	1c)	1d)	1e)	1 f)	1g)	2	3	4	5	6
Alunos												
01	+	+	++	+	+	+	+	+	++	++	++	+
02	+	+	+	++	+	+	++	++	++	++	++	+
03	+	+	-	+	+	-	+	+	0	-	-	-
04	+	+	++	+	+	0	+	+	+	+	+	+
05	+	+	0	+	++	0	+	+	+	+	+	0
06	0	0	+	++	-	+	+	+	+	++	+	+
07	+	+	+	+	+	++	+	++	+	++	+	+

08	0	-	++	+	++	+	+	+	+	+	0	+
09	+	-	+	+	++	+	+	+	0	+	0	+
10	+	0	0	+	0	+	0	+	++	++	++	++
11	-	0	-	++	-	0	-	0	+	+	0	+
12	++	-	0	+	++	+	+	+	+	++	+	++
13	+	++	++	+	+	+	++	+	++	++	+	++
14	++	+	++	+	++	+	+	++	++	++	++	+
15	-	0	0	+	+	+	+	+	++	+	+	+
16	++	++	+	+	++	+	+	++	+	0	0	+
17	0	-	+	+	++	++	++	++	++	++	+	+
18	++	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
19	++	+	++	+	++	0	+	+	+	++	+	0
20	+	-	+	+	++	+	-	+	+	0	+	+
21	0	+	+	++	++	+	-	++	++	-	+	-
22	0	-	++	-	+	++	-	0	+	+	+	0
23	+	+	+	0	++	++	+	++	++	++	++	++
24	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++	+	0
25	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
26	-	-	+	+	+	+	+	++	+	-	0	0
27	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	0	+
28	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+
29	0	+	+	+	+	+	+	+	++	+	+	+

Quadro 9 – Resultados por aluno a partir da categorização realizada para as respostas dos alunos da turma B ao questionário. “0” indica uma resposta inconclusiva, “-” indica um indicio fraco de aprendizagem, “+” indica um indicio moderado e “++” indica um indicio forte.

Quest. Alunos	1 a)	1 b)	1 c)	1 d)	1 e)	2	3	4	5	6
01	+	+	0	+	0	+	++	++	+	+
02	0	-	-	+	+	+	+	+	+	0
03	+	0	+	+	+	+	-	+	+	+
04	+	-	0	-	+	+	+	+	+	+
05	++	+	++	0	+	+	+	++	+	-
06	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
07	+	-	0	+	+	+	+	+	-	-
08	+	+	+	+	+	0	+	++	+	+
09	+	-	+	++	+	+	+	+	++	+
10	+	0	+	++	++	++	++	++	++	+
11	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-
12	+	-	++	+	+	+	+	++	+	-
13	+	+	+	++	+	+	++	+	+	+
14	+	+	+	+	+	++	++	+	+	+
15	+	++	+	+	+	++	++	++	++	++
16	++	++	++	++	0	++	++	++	++	++
17	+	+	++	++	+	+	++	++	+	+
18	-	-	+	+	-	0	+	-	+	-
19	+	++	++	++	++	++	++	++	+	+
20	0	+	+	++	+	++	++	+	++	+
21	+	++	+	++	0	+	+	++	+	++
22	0	+	++	++	+	+	++	++	++	+
23	+	+	+	+	+	++	+	+	+	-

24	0	+	++	++	+	+	+	+	++	0
25	++	-	++	+	+	+	++	+	+	+
26	+	+	0	0	+	+	+	+	-	-

A primeira questão, dividida em sete itens, visa a manifestação do aluno em relação a diversas afirmativas sobre aspectos da Natureza da Ciência, e solicita ao aluno uma avaliação a respeito. O primeiro item, “*Os antigos gregos se destacaram na história por suas tentativas de explicar a natureza sem recorrer à mitologia, o que ocasionou teorias corretas para os fenômenos observados no céu*”, intenta fazer o aluno expor sua visão sobre os assuntos discutidos sobre a antiga Grécia, contexto histórico que constitui o início das discussões promovidas na unidade de ensino. Ao sugerir que os antigos gregos elaboraram teorias corretas para os fenômenos naturais, pretende-se avaliar se o aluno identifica o termo “teorias corretas” como inadequado, elemento que julgamos importante em relação à superação de uma visão de ciência acabada, de teorias definitivas. Naturalmente, consideramos que “teorias corretas” remete a resultados inquestionáveis, que contradizem os aspectos discutidos nas aulas sobre teorias progressivas, que tão só (o que julgamos muito) são metodologicamente tidas como melhores que outras.

Tabela 15 – Exemplos de respostas dos alunos à primeira afirmativa da primeira questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
<p>17A <i>Os antigos gregos são realmente muito importantes para a ciência, pois, desde a antiguidade, eles eram grandes observadores a fim de encontrar uma explicação para os fenômenos naturais, o que levou à posteriormente a elaboração de teorias que pudessem explicar a natureza.</i></p> <p>21A <i>Por um bom tempo acreditou-se que deuses controlavam qualquer fenômeno natural. Mas com o tempo, foram observando melhor e perceberam que não fazia sentido. Olhavam pro céu e tentavam explicar o que viam, sem colocar um deus no meio. Assim, criaram teorias para explicar o movimento dos astros no céu. Criaram a teoria do geocentrismo e do heliocentrismo.</i></p>	<p>Apesar de essa resposta ser em boa medida coerente, ela apenas repete a situação colocada, sem uma alusão direta ao tipo de teoria elaborada.</p> <p>Semelhantemente à resposta anterior, não traz nenhum elemento adicional à questão. Não se percebe o que o aluno pensa a respeito das teorias dos gregos citadas, por exemplo.</p>
Índice fraco	Comentários
15A	

<p><i>Não concordo com a primeira afirmativa pois os gregos se basearam muito na mitologia, eram totalmente influenciados por fins religiosos.</i></p> <p>18B</p> <p><i>Não concordo com essa afirmativa pois há vários textos e escrituras em pedras, que provam que eles recorriam à mitologia.</i></p>	<p>Esse aluno parece ter ficado restrito à cultura mitológica da Grécia, ignorando totalmente os contextos discutidos com a classe.</p> <p>Idem.</p>
Índice Moderado	Comentários
<p>04A</p> <p><i>É correto afirmar que os antigos gregos se destacaram por tentarem explicar a natureza sem recorrer à mitologia, porém isso não ocasionou teorias corretas, pois eles fizeram apenas hipóteses sem experimentar nada, ou seja, suas teorias não tinham uma boa força heurística.</i></p> <p>15B</p> <p><i>Foi com os antigos gregos que começaram as explicações dos fenômenos naturais sem recorrer aos deuses, aos mitos. Mas, a maioria dos antigos gregos, tais como Ptolomeu e Aristóteles, acreditavam que a teoria [...] da Terra no centro do sistema estava certa. Já outros, como Aristarco, acreditavam que o Sol era o centro do sistema, que é a teoria considerada correta (heliocentrismo).</i></p>	<p>Vemos aparecer aqui um termo específico da epistemologia discutida em sala que, se não aparece no melhor contexto, indica uma boa concordância em relação às limitações das teorias propostas. Mas há uma sugestão velada de que, se assim o fosse, talvez elas fossem corretas.</p> <p>A resposta relativiza, ao nosso ver de forma adequada, as teorias “consideradas corretas”.</p>
Índice Forte	Comentários
<p>06B</p> <p><i>Os antigos gregos foram, com certeza, um estopim para todas as ciências. As tentativas dos gregos de explicar a natureza ainda eram, de certa forma, primitivas em relação ao que temos hoje, porém, mesmo com a limitação da época, algumas das hipóteses e teorias dos gregos estavam próximas às observações.</i></p> <p>18A</p> <p><i>Os pensadores comentados na frase buscavam explicações além dos deuses e da mitologia. [...] O funcionamento do universo começou a ser pensado de uma outra forma. Nesta época estes homens não eram ainda considerados cientistas por conta da metodologia e da observação e tentativas de explicação mais ligadas apenas a sentidos diretos. Não que a ciência de hoje não utilize essas práticas de observação, porém, mesmo não havendo um método a ser seguido à risca, existem determinadas formas diferentes de formular e testar hipóteses. As discussões levantadas pelos gregos certamente renderam anos de discussão até chegar à teoria mais aceita, não que ela seja totalmente correta, porém ela possui características que as torna mais aceitável. Essa discussão também gerou avanços no que agora chamamos de ciência.</i></p>	<p>Boa percepção de teorias como tentativas de explicação provisórias e sugestão de uma evolução que faz com que teorias sejam suplantadas.</p> <p>Resposta bastante completa em relação à sugestão da ciência como uma progressão histórica, incluindo elementos que indicam a superação da visão ingênua de um método científico seguido à risca pelos cientistas.</p>

A segunda afirmação da questão 1, “*Experimentos servem para provar uma teoria*”, visa obter do aluno sua visão a respeito da experimentação realizada na ciência, para avaliar em que medida essa visão supera concepções ingênuas relacionadas tanto à experimentação como elemento decisório a favor (ou contra) de uma teoria, quanto à imagem de “prova” como condição definitiva de uma teoria. Esse último elemento guarda uma polissemia que exige diferentes olhares para diferentes respostas, uma vez que mesmo Popper, que muito insistiu na impossibilidade de provar teorias, no sentido positivo, usava esse termo como condição de teste.

Na medida em que a teoria resista a provas pormenorizadas e severas, e não seja suplantada por outra, no curso do progresso científico, poderemos dizer que ela “comprovou sua qualidade” ou foi “*corroborada*” pela experiência passada (Popper, 1993, pg. 34).

Assim, pode-se provar uma teoria por meio de experimentos, em um sentido de teste, mas não se pode provar uma teoria em um sentido definitivo, de terminantemente provada, inquestionável.

Tabela 16 – Exemplares de respostas dos alunos à segunda afirmativa da primeira questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
03B <i>Concordo pois sem o uso de testes não há como saber se uma teoria é verdadeira ou falsa. [...].</i>	Esse aluno cita adequadamente a experimentação como teste, mas finaliza com a noção de verdade.
06A <i>Sim, os experimentos são formas de provar uma teoria, mas vai muito além disso, um experimento não prova uma teoria. [...] Mas vale a pena ressaltar que as teorias não serão realmente provadas, pois elas não são verdades absolutas.</i>	Essa resposta contém elementos adequados em relação ao pretendido, mas optamos por essa categorização devido à clara incoerência da primeira frase.
Indício fraco	Comentários
04B <i>Sim, pois os experimentos servem para uma confirmação total da hipótese, ou seja, provar a partir de experimentos uma teoria.</i>	Resposta muita positiva em relação à afirmativa.
12A <i>Realmente, quando há uma teoria é necessário encontrar uma forma de prová-la e a melhor</i>	

<p><i>maneira de se fazer isso é realizar um experimento. Porém, algumas vezes o processo ocorre de forma inversa, ou seja, um experimento é realizado e é preciso criar uma teoria que explique o que e porque aconteceu.</i></p>	<p>Resposta muito positiva, com poucos subsídios para outra categorização. Demonstra ainda problemas em relação à suposta ordem teoria-experimento.</p>
Indício moderado	Comentários
<p>05A <i>Experimentos servem para testar a teoria e para verificar se as hipóteses condizem com o que é observado na realidade ou não. Esses experimentos podem servir para provar ou não uma teoria.</i></p> <p>17B <i>Praticamente sim. Quando temos uma teoria nós a testamos para vermos se ela faz sentido, porém, um teste que ajuda a teoria (um experimento que tem sucesso de acordo com a teoria), não prova a teoria, mas sim, a corrobora.</i></p>	<p>Apesar da possível incoerência entre a primeira e a segunda sentença, julgamos que o início da resposta sugere uma boa concordância em relação ao pretendido, com a sugestão do experimento como recurso de teste.</p> <p>Apesar da concordância inicial, esse aluno parece compreender o experimento como teste que reforça a teoria, negando inclusive a noção de prova.</p>
Indício forte	Comentários
<p>13A <i>Experimentos são muito importantes para a comprovação de uma teoria, embora a empiricidade não seja tudo. A observação de fenômenos e a produção de cálculos ou pensamentos para tentar explicá-los é uma parte muito importante para sustentar a teoria.</i></p> <p>06B <i>Acredito que “provar” esteja sendo usado de maneira errônea, pois quando se fazem experimentos, o que ocorre é a corroboração da teoria, ou seja, o experimento pode dar um dado comprovante para a teoria.</i></p>	<p>Boa sugestão da contextualização do experimento, onde a heurística da teoria como um todo é que decide por sua confirmação (no sentido de corroboração).</p> <p>Boa percepção da ideia de teste que reforça a teoria.</p>

A terceira afirmação, “*O movimento retrógrado é uma evidência que pode ser utilizada a favor tanto do geocentrismo quanto do heliocentrismo, o que mostra como a observação dos fenômenos naturais não é suficiente para construirmos teorias científicas*”, possui diferentes possibilidades de ser pensada. Primeiramente, intenta a levar o aluno a se posicionar em relação à afirmação, provavelmente ousada para ele, de que a observação dos fenômenos não é o bastante para se elaborar as teorias. E também visa a percepção do aluno em relação ao referido movimento como uma evidência não decisória entre os dois sistemas, o que pode ser vista de forma afirmativa, se o aluno argumentar como esse movimento era explicado pelos dois sistemas, ou de forma exclusiva, onde o movimento retrógrado só pode ser adequadamente explicado por um dos sistemas. Deste modo, a maneira como o aluno responde a essa questão pode fazer com que consideremos adequado uma ou outra forma de

entendimento: o movimento retrógrado sendo visto como evidência de ambos os sistemas, ou como argumento a favor apenas de um deles, no contexto da superação de hipóteses ad hoc (dos gregos) pela força heurística (de Newton).

Tabela 17 – Exemplos de respostas dos alunos à terceira afirmativa da primeira questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
<p>10A <i>O movimento retrógrado não pode ser explicado pelo geocentrismo, uma vez que a teoria dizia que os planetas orbitavam em um círculo perfeito.</i></p> <p>01B <i>Não concordo com essa afirmação, pois o movimento retrógrado só pode ser usado a favor do heliocentrismo pois a Terra pode realizar o epíclis.</i></p>	<p>O movimento naturalmente pode ser explicado pelo geocentrismo, mas a segunda parte sugere que isso é um problema que surge com o círculo perfeito, o que, se fosse melhor argumentado, poderia sugerir uma imagem adequada da questão.</p> <p>Resposta incoerente, ao se referir ao epíclis.</p>
Indício fraco	Comentários
<p>03A <i>As observações dos fenômenos naturais são o suficiente para construir uma teoria, mas não científica. Na minha opinião ciência é tudo aquilo que pode ser provado, e só observando um fenômeno sem qualquer tipo de experimento que possa provar a teoria feita não é teoria científica.</i></p> <p>11A <i>O movimento retrógrado prejudicou muito o geocentrismo, pois precisavam construir algo mais complexo para explicar, e o heliocentrismo teve isso como favorecimento pois fazia todo o sentido para quem acreditava.</i></p>	<p>Muitas inconsistências e afirmativas inadequadas em relação ao pretendido.</p> <p>Apesar de ser possível “salvar” sua resposta, de modo geral não permite outra classificação. Certamente o geocentrismo sobreviveu muito bem com o movimento retrógrado.</p>
Indício moderado	Comentários
<p>07A <i>Apesar de que a observação dos fenômenos naturais não é o suficiente para construirmos nossas teorias, sempre iremos necessitar, além da nossa imaginação, de algum fenômeno que possa ser previsto para assim comprovarmos nossa teoria.</i></p> <p>08B <i>Eu concordo parcialmente com essa afirmação, pois o movimento retrógrado não é utilizado a favor do geocentrismo, porque para explicar o movimento retrógrado o geocentrismo usa um ad hoc, enquanto o heliocentrismo explica através da teoria em si, sem ad hoc.</i></p>	<p>Concordância com a segunda parte da terceira afirmativa, inclusive com a interessante menção à imaginação do cientista, mas sem menção à primeira parte, sobre o movimento retrógrado.</p> <p>Consideramos adequada a sugestão de que o referido movimento necessita de uma hipótese ad hoc, no geocentrismo.</p>
Indício forte	Comentários

01A

Acredito que não. O movimento retrógrado foi uma anomalia para o sistema geocêntrico, a partir disso precisaram construir um cinturão protetor para preservar o movimento [visto]. O cinturão, nesse caso, eram os epiciclos, fato que posteriormente não foi comprovado. Então, para o geocentrismo foi uma evidência de que havia algo de errado com o sistema. Já para o heliocentrismo o movimento retrógrado conseguiu ser explicado, fato onde houve a maior aceitação do sistema e assim uma evidência que pode ser explicada. [...] Acredito que é essencialmente importante a observação dos fenômenos [...], porém não é só isso, em alguns casos é preciso também ser matematicamente bem estruturado, elaborar hipóteses.

14A

Sim, o movimento retrógrado pode ser utilizado tanto a favor do geocentrismo quanto a favor do heliocentrismo, contudo, mesmo que ambas teorias consigam explicar o porquê de determinado fenômeno, [acaba sendo uma questão pessoal] escolher entre uma e outra. [...] Mas uma [o heliocentrismo] acaba estando em progressão e outra em regressão, já que aquela que está em progressão consegue responder as mesmas questões da que está em regressão, porém consegue explicar fenômenos [adicionais].

05B

De fato, porém diferentemente do heliocentrismo, para o movimento retrógrado se encaixar no geocentrismo foram feitas várias alterações e ajustes matemáticos na teoria, pois haviam planetas que não realizavam o movimento perfeito, para concertar isso [os gregos] propuseram uma alteração que seria o epiciclo a partir daí foi possível encaixar o movimento retrógrado no geocentrismo.

Essa resposta mostra boa desenvoltura em relação aos termos discutidos, e ataca integralmente a situação, contextualizando a observação dos fenômenos naturais. Achamos interessante a argumentação de que o movimento retrógrado foi uma evidência de que havia algo errado com o geocentrismo.

Apesar de alguns problemas de redação, esse aluno demonstra um bom entendimento da dinâmica de competição entre teorias, conforme as discussões em sala. A questão da observação acaba ficando implícita na resposta: o fenômeno (movimento retrógrado) é explicado por ambas as teorias, e é necessário elementos adicionais para a decisão de qual é mais adequada.

Sugestão adequada de que o referido movimento foi encaixado no geocentrismo por ajustes ad hoc.

A quarta afirmativa da primeira questão, “*O cientista, normalmente trabalhando sozinho, observa o mundo e elabora teorias a partir dos dados observados*”, tem a clara intenção de avaliar se o aluno percebe que o trabalho do cientista está imerso em um contexto social. As discussões ao longo da implementação da unidade de ensino buscaram mostrar como cada pensador discutido trabalhou em colaboração com outros, e mesmo onde há o aparente trabalho individual sempre existe condicionantes sociais que tornam possível esse trabalho. A questão permite ainda uma manifestação adicional em relação à suposta dependência direta entre observação e teoria, em um sentido de causalção

direta e inexorável, visão que procuramos superar com a unidade de ensino. Essa afirmativa não esteve presente no questionário da turma B.

Tabela 18 – Exemplos de respostas dos alunos da turma A à quarta afirmativa da primeira questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
23A <i>Sim, ciência é uma tentativa de descrever a realidade, partindo do pressuposto de que ela existe.</i>	?
Indício fraco	Comentários
22A <i>Os cientistas muitas vezes trabalham sozinhos, pois todos possuem formas diferentes de pensar e raciocinar. Como por exemplo: Isaac Newton ao observar a maçã caindo da árvore criou hipóteses de o porquê essa maçã cairia, e assim por meio de vários cálculos criou a teoria da Gravitação.</i>	Essa resposta propala a visão inadequada que pretendemos superar, sendo bastante afirmativa em relação à questão colocada.
Indício moderado	Comentários
28A <i>O cientista trabalha junto com a sociedade acadêmica, pois não se pode fazer ciência sozinho, se não o estudo dessa pessoa se torna superstição de um home só. O cientista deve trabalhar com a ajuda de outros cientistas [...].</i>	Ênfase adequada na colaboração científica.
07A <i>[...] Apesar de eu não possuir dados, acredito que uma grande maioria ou todos [os cientistas] trabalham com ajudantes ou em conjunto com outros pesquisadores, [e] retomando a questão, não existe uma metodologia que sempre chegue ao sucesso, ou seja, não podemos afirmar que ele [o cientista] elabora suas teorias a partir de dados observados.</i>	Boa percepção em relação ao trabalho coletivo, e também sobre a questão da observação como produtora de teorias.
Indício forte	Comentários
02A <i>O cientista não elabora teorias apenas [com seus] dados, baseiam-se [também] nos dados obtidos por outros cientistas. [...] Na própria história podemos notar que é verdade. Einstein só conseguiu corroborar as hipóteses de sua teoria quando Eddington fez a observação da deflexão da luz no dia do eclipse, este é um exemplo, mas existem vários casos na história da ciência de estudiosos se ajudando.</i>	Resposta indica boa percepção do trabalho colaborativo entre os cientistas, trazendo o interessante exemplo de Einstein e Eddington.
18A <i>O trabalho científico nunca se dá sozinho, pois muitas informações desenvolvidas no passado, mesmo que sobre outros assuntos, certamente acompanharão o pesquisador. E ainda, mesmo</i>	Resposta bastante completa a respeito da coletividade científica, trazendo ainda elementos específicos sobre a Natureza da Ciência.

que indiretamente, sempre há pessoas apoiando a teoria e auxiliando no seu desenvolvimento. Não podemos ser ingênuos para pensar que o cientista consegue, sozinho, desenvolver e aprimorar uma teoria. Por exemplo, se ocorre alguma anomalia e são formuladas hipóteses ad hoc para proteger a teoria, elas precisam ser testadas e não é apenas o próprio pesquisador que tem interesse de corroborar a teoria, mas sim muitas outras pessoas, pois não podemos esquecer que em meio à ciência também existem relações de poder que a rege. Além disso, muitas teorias que conhecemos hoje partiram de estudos de outros cientistas que já estudaram partes do fenômeno ou até mesmo desenvolveram [outras] teorias. Então, o trabalho científico não se dá de forma solitária e sim num conjunto muito maior, mesmo que indiretamente.

A quinta afirmativa da primeira questão, “*O sistema geocêntrico foi abandonado porque não conseguia explicar nenhum dos fenômenos observados, como o movimento retrógrado e o movimento diário do Sol e da Lua*”, busca a visão do aluno a respeito do abandono do sistema geocêntrico no contexto da dinâmica de competição de teorias, discutida ao longo da implementação da unidade de ensino. Naturalmente, o referido sistema explicava com certo grau de precisão o que era observado no céu, e com essa questão pretendemos avaliar se o aluno traz outros elementos que atuam na decisão entre teorias. Essa afirmativa é a quarta no questionário da turma B.

Tabela 19 – Exemplos de respostas à quinta afirmativa da primeira questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
10A <i>Foi substituído pelo heliocentrismo, que explicava esses fenômenos, mesmo sendo uma heresia contra a igreja, na época.</i>	Essa resposta não indica claramente a posição do aluno em relação às explicações do sistema geocêntrico.
05B <i>Concordo parcialmente, pois o movimento retrógrado foi explicado por meio das elipses, mas a anomalia de movimento diário do Sol e da Lua não foram explicados. [...].</i>	Troca de conceitos e sugestão incoerente de “anomalias de movimento diário”.
Indício fraco	Comentários
06A <i>O sistema geocêntrico foi abandonado por não conseguir explicar esses fenômenos e também vários outros como as crateras lunares, mas</i>	Claro exemplo de resposta alheia ao discutido em sala.

<p><i>também porque não foi comprovado matematicamente.</i></p> <p>04B <i>Sim, pois não haviam provas concretas sobre os fenômenos observados, e esse modelo deixou de ser usado depois que Newton conseguiu elaborar uma teoria [...] que conseguia prever as trajetórias dos planetas.</i></p>	<p>Resposta muito afirmativa à questão.</p>
Indício moderado	Comentários
<p>02A <i>O sistema geocêntrico foi abandonado porque tinha um acúmulo de hipóteses ad hoc e entrou em regressão. [...] Quando um programa de pesquisa entra em regressão, conseqüentemente o outro entra em progressão e este último ocupa o lugar do anterior.</i></p> <p>15B <i>O sistema geocêntrico foi abandonado por não explicar [detalhes específicos] do movimento retrógrado. O movimento do Sol e da Lua era explicado por acreditar-se que eles giravam ao redor da Terra. O sistema heliocêntrico explicava melhor os fenômenos observados. [...].</i></p>	<p>Resposta adequada no contexto discutido em sala. Apenas sentimos falta de uma exemplificação, para avaliar em que medida o aluno entende a explicação do geocentrismo em relação aos referidos fenômenos.</p> <p>Apesar de valorizar muito a falta de explicação do “ajuste fino” do movimento retrógrado, a resposta traz a sugestão adequada da substituição do geocentrismo por uma teoria melhor.</p>
Indício forte	Comentários
<p>18A <i>Bom, na verdade o sistema geocêntrico foi substituído pelo heliocêntrico de forma lenta, por causa das características desse segundo, que tornavam seu programa de pesquisa mais aceito. A principal característica foi a grande progressão do heliocentrismo em relação ao geocentrismo. Além disso, sua capacidade explicativa e as hipóteses ad hoc confirmadas em contraste com o excesso de hipóteses ad hoc acumuladas [do geocentrismo], deram a ela o título de “a melhor teoria”.</i></p> <p>16B <i>Discordo parcialmente pois o número de ad hocs adicionados à teoria “explicava” os [referidos] fenômenos. O geocentrismo foi abandonado pois o número de corroborações na teoria do heliocentrismo e a quantidade de ad hocs adicionados ao geocentrismo fizeram com que essa teoria perdesse valor.</i></p>	<p>Resposta bastante completa em relação aos elementos da Natureza da Ciência referentes à dinâmica de progressão e regressão de teorias.</p> <p>Resposta adequada, que sugere que os referidos fenômenos eram sim explicados pela teoria, ainda que com seus ad hocs, e que foi o fortalecimento (progressão) do heliocentrismo frente ao enfraquecimento (regressão) do geocentrismo que definiu sua substituição.</p>

A sexta e penúltima afirmativa da primeira questão, “*As teorias científicas direcionam nosso olhar para a natureza, ou seja, muitas descobertas científicas na verdade são resultado de uma indicação da teoria, como a descoberta do planeta Netuno*”, intenta avaliar a visão do aluno a respeito da predeterminação da observação pela teoria, ou seja,

avaliar em que medida o aluno identifica a procedência da afirmativa (e a superação de um empirismo ingênuo), a heurística das teorias como agente que determina o que será observado (e possivelmente “descoberto”). Essa afirmativa é a quinta e última do questionário da turma B.

Tabela 20 – Exemplos de respostas dos alunos à sexta afirmativa da primeira questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
<p>05A <i>As teorias são feitas para explicar o que observamos na natureza e a descoberta de Netuno foi algo que a teoria previu devido a sua força heurística.</i></p> <p>16B <i>Concordo, pois por meio de observações podemos descobrir coisas que não eram o foco da teoria, mas que acabam se tornando uma corroboração para a mesma.</i></p>	<p>Apesar de concordar com a afirmativa, essa resposta parece apenas repeti-la, sem maiores indicativos que possam ser avaliados.</p> <p>Apesar da resposta afirmativa, o restante não parece ratificar seu ponto de vista.</p>
Indício fraco	Comentários
<p>18B <i>A descoberta do planeta Netuno não foi a partir de indicações de teorias.</i></p> <p>03A <i>Sim, muitas descobertas científicas são resultados da teoria, pois através das teorias que montamos um método científico que possa prova-la. Newton supôs uma teoria que teria outro corpo celeste agindo sobre Urano, e sua teoria foi provada quando descobriram Netuno.</i></p>	<p>Resposta oposta ao pretendido para a questão.</p> <p>Essa resposta mostra uma clara confusão de informações, além de ser muito afirmativa em relação à “prova” e “método científico”. Contudo, não nega a afirmativa, do que outro pesquisador poderia classificá-la de modo diferente.</p>
Indício moderado	Comentários
<p>15B <i>Essa afirmação é correta. Foi descoberta uma anomalia na órbita de Urano, a indicação da teoria de Newton é a de que haveria um outro corpo celeste que atraía Urano e causava aa anomalia. [Dois astrônomos] propuseram que seria um novo planeta, Netuno, que foi posteriormente visto [...], ou seja, a indicação da teoria de Newton resultou no descobrimento de Netuno.</i></p> <p>11A <i>Em alguns vários casos sim, você só obtém um olhar crítico sobre algo a partir que uma teoria indique que “alguma coisa” faz “alguma outra coisa”, e essas coisas podem ser explicadas de uma determinada maneira, aí sim, existe um olhar crítico, mas até isso acontecer, um fato da</i></p>	<p>Boa compreensão da referida descoberta como resultado da força heurística da Gravitação (mais uma vez, relevamos a personificação da teoria).</p> <p>Apesar da redação “genérica” e problemática, é possível entrever a sugestão de que os fenômenos a serem explicados “sempre” estiveram lá, sendo necessária uma teoria para indicar o que acontecerá e, portanto, o que será observado em um contexto de teste.</p>

<i>natureza é um fato da natureza, sem explicação, sem observação crítica, isso sempre aconteceu.</i>	
Indício forte	Comentários
<p>07A <i>Certamente, após formularmos uma teoria iremos observar os fenômenos naturais para vermos se a nossa teoria se adequa e consegue explicá-los.</i></p> <p>06B <i>Einstein fez [sua] própria teoria, de forma, talvez, inteiramente hipotética. E foi analisando [essa] teoria que se chegou no princípio da equivalência que levou os cientistas a pensarem se a luz se curva. E logo isso foi observado com a deflexão gravitacional da luz. Ou seja, a teoria decide o que vai ser observado.</i></p> <p>19B <i>Essa afirmação faz referência à força heurística, ou seja, o autor da teoria indica alguma previsão, de algum fato, e a partir disso, novas descobertas [podem ser] feitas, ou seja, uma teoria, através de previsões, pode nos levar a novos fatos, novas descobertas e até novas teorias. [...].</i></p>	<p>Apesar de bastante sucinta, a resposta sintetiza a noção de que as teorias irão determinar o que observamos, ou seja, demonstra uma inversão desejável no senso comum de fenômenos originando teorias.</p> <p>Resposta bastante adequada em relação ao pretendido, com a noção de que a teoria decide o que vai ser observado, com um bom exemplo do que foi discutido em sala.</p> <p>Excelente concordância com o pretendido, com a lembrança do conceito de força heurística.</p>

A sétima e última afirmativa da primeira questão, “*O método científico, que os cientistas seguem, consiste em: a) observação dos fenômenos, b) medida de suas grandezas, c) constatação de padrões e d) indução das leis e teorias científicas*”, tem a clara intenção de fazer o aluno a se manifestar em relação a um suposto método científico bem definido, uma cartilha que os cientistas seguem em suas pesquisas. Essa afirmativa não esteve presente no questionário implementado na turma B.

Tabela 21 – Exemplos de respostas dos alunos da turma A à sétima afirmativa da primeira questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
<p>10A <i>Sim, mas não necessariamente nessa ordem, seguindo um caminho previamente formulado. O método irá variar de acordo com o objeto de estudo.</i></p>	<p>Essa resposta começa com um Indício fraco de aprendizagem, mas termina com uma afirmação que pode ser vista como adequada. Consideramos então incoerente no todo.</p>
Indício fraco	Comentários
<p>11A <i>Não necessariamente nessa ordem, muitas vezes algo é proposto antes mesmo de ser testado, a</i></p>	<p>Apesar da indicação adequada de que algo pode ser “proposto antes de ser testado”, a resposta dá muita</p>

<p><i>ordem não é essa, mas essa ordem pode ser utilizada sim.</i></p> <p>22A <i>Os métodos científicos não necessitam seguir uma ordem, porém consistem nesses quatro pontos chaves.</i></p>	<p>ênfase na existência de uma ordem, mesmo que não seja “essa”.</p> <p>Ainda que não concorde diretamente com a ordem apresentada, também assume esses passos como uma metodologia.</p>
Indício moderado	Comentários
<p>01A <i>[...] Não podemos enumerar esses passos, pois para cada estudo e comprovação haverá distinção. [...] Muitos cientistas não seguem esses passos até porque não há passos certos para chegar na teoria, isso depende do cientista [...].</i></p> <p>04A <i>É correto afirmar que o método científico constitui-se desse elementos, porém ele não é como uma receita de bolo, não existe um passo a passo de como se formar uma teoria. [...] É relativo, vai de pessoa para pessoa.</i></p>	<p>Boa percepção da ausência de um método definido, apenas com a ressalva (talvez não percebida pelo aluno) de que, ao sugerir que muitos cientistas não seguem esses passos, outros poderiam vir a fazê-lo.</p> <p>Apesar da alusão a um método científico, do qual os elementos citados fariam parte (portanto não definidores), há a sugestão adequada da inexistência de um passo a passo.</p>
Indício forte	Comentários
<p>02A <i>Não existe um único método ou um modelo fixo na ciência, porque existem muitas variáveis influenciando como o local e a época. Porém é possível traçar alguns elementos essenciais que são as observações, teorias e corroborações das hipóteses (que pode ser feita de várias formas), entretanto, como discutimos em sala, não existe uma única ordem ou únicos passos. O cientista tem a livre escolha de fazer seu programa de pesquisa conforme for melhor para ele e dependendo do que ele está estudando.</i></p> <p>17A <i>Acredito que não exista um método científico a ser seguido, pois não há uma única “receita” para se obter determinado resultado. Existem métodos que podem ser moldados para seguir um caminho e obter resultados.</i></p>	<p>Bom emprego dos termos escolhidos (<i>corroboração das hipóteses</i> no lugar de <i>prova</i>, por exemplo), sugerindo claramente a complexidade da questão e a inexistência de um método universal.</p> <p>Apesar de sucinta, a resposta sintetiza a noção de que, ao mesmo tempo em que existe métodos, não há um método no sentido de uma receita a ser seguida.</p>

A segunda questão do questionário traz ao aluno um texto que contém afirmativas adequadas e também afirmativas inadequadas em relação aos elementos na Natureza da Ciência discutidos ao longo da implementação da unidade de ensino:

Ao longo da história da ciência, um dado fenômeno natural foi explicado por diferentes teorias. Mas chega um momento onde uma dessas teorias se mostra superior, fazendo com que outras sejam abandonadas. Uma teoria é abandonada quando surge uma anomalia, ou seja, quando algum dado discordante mostra que a previsão teórica está errada, indicando que a teoria então também está

errada. Quando uma previsão é confirmada, a teoria passa a ser provada, passando a ser uma lei inquestionável.

Nosso objetivo foi averiguar se o aluno consegue mobilizar suas aprendizagens para discernir umas das outras, avaliando suas justificativas para tal. De modo geral, o que determinou se consideramos um indício de aprendizagem como moderado ou forte, foi a abrangência da argumentação em relação a todo o texto apresentado.

Tabela 22 – Exemplos de respostas dos alunos à segunda questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
<p>18B</p> <p><i>Concordo, afinal sempre houve mais de uma teoria, porém, sempre uma só ganhou. Nem sempre quando uma previsão é confirmada que a teoria passa a ser provada e vira uma lei inquestionável.</i></p>	<p>A resposta contém alguns elementos procedentes, mas em seu todo é confusa e com alguns termos contraditórios.</p>
Indício fraco	Comentários
<p>Não houve.</p>	<p>Não tivemos nenhuma resposta que fosse em boa parte inadequada em relação ao pretendido para a questão. Nos casos onde parte de alguma resposta estava inadequada, fizemos a consideração do todo, ou seja, de modo geral as inadequações foram compensadas pela mobilização adequada de seus conhecimentos em outros trechos do texto.</p>
Indício moderado	Comentários
<p>06A</p> <p><i>Uma teoria não é abandonada quando surge uma anomalia. Quando isso acontece os cientistas tentam delimitar hipóteses ad hoc para defender o núcleo firme da teoria, formando o cinturão protetor. Depois essas hipóteses precisarão ser refutadas ou corroboradas, mas mesmo que sejam refutadas, a teoria não será abandonada de imediato. Após a confirmação de uma teoria ela não passa a ser uma verdade absoluta, mas uma verdade temporária, que pode ser substituída ou adaptada conforme novas coisas forem descobertas.</i></p> <p>25B</p> <p><i>Eu concordo com [a primeira frase], por exemplo, em cima dos mesmos fatos existem a teoria geocêntrica e heliocêntrica, que possuem diferentes argumentos. Discordo [segundo trecho], pois o próprio sistema geocêntrico "sobreviveu" por 1600 anos, sendo que ele possuía vários ad hoc que poderiam ser explicados pelo heliocentrismo. [Sobre a terceira parte], na verdade uma teoria pode sempre ser</i></p>	<p>Resposta com termos bastante adequados em relação aos assuntos discutidos em sala, demonstrando boa desenvoltura no entendimento da proteção de uma teoria e sua posição de permanente vigilância.</p> <p>Boa concordância com o pretendido para a questão, faltando apenas uma consideração a respeito da última frase do texto.</p>

complementada ou substituída por outra que é considerada melhor [...].

Indício forte	Comentários
<p>02A</p> <p><i>Eu concordo com a frase 1, porque na própria Gravação (por exemplo) foram usadas diferentes teorias e conforme uma teoria entrava em regressão outra entrava em regressão e assim sucessivamente. A ciência é mutável, está evoluindo e sendo substituída constantemente. Eu discordo da frase 2, uma teoria não é abandonada imediatamente após o surgimento de uma anomalia, para essas anomalias são criadas hipóteses ad hoc que servem como um cinturão protetor para proteger a ideia central. Porém, essas hipóteses ad-hoc devem ser corroboradas. Quando não são corroboradas e se acumulam, a teoria é descartada. Na frase 3, discordo que uma teoria quando corroborada se torna uma lei inquestionável porque as teorias só são verdade enquanto ninguém mostra o contrário. Chega um momento em que a teoria entra em regressão e outra ocupa o seu lugar.</i></p> <p>15B</p> <p><i>[As duas primeiras afirmações] estão corretas. Diversas teorias tentavam explicar o mesmo fenômeno (ex. órbita terrestre, sendo circular ou elíptica). Porém, chegou um momento em que uma teoria se sobressaiu por explicar melhor o fenômeno, apresentar mais fatos que a comprovem e apresentar força heurística. As [demais] informações são inadequadas. Quando há uma anomalia na teoria, é adicionado um ad hoc (uma hipótese formulada para ajustar as explicações aos fenômenos), para que não joguemos a teoria fora. Quando a previsão é confirmada, a teoria é corroborada, ou seja, parcialmente comprovada, não podemos provar uma teoria, muito menos torná-la uma lei inquestionável, pois é natural que após explicar diversos fenômenos, uma teoria falhe. [...].</i></p>	<p>Exemplo de um bom entendimento da dinâmica de competição entre teorias, com a adequada identificação das procedências e improcedências do texto apresentado.</p> <p>Boa utilização do conceitos específicos (força heurística, hipóteses ad hoc, corroboração), estando de acordo com o pretendido para a questão e contemplando todo o texto apresentado.</p>

A terceira questão solicita que o aluno se manifeste a respeito de seu entendimento do termo *hipótese ad hoc*, que entendemos ser bastante importante para a superação de um empirismo ingênuo, no contexto das discussões feitas a respeito da dinâmica de progressão de teorias. Embora as questões anteriores tenham oferecido a oportunidade de os alunos demonstrarem seus conhecimentos a respeito da atividade científica, segundo a visão lakatosiana trabalhada, onde a *hipótese ad hoc* é elemento importante na dinâmica de crescimento das teorias, nessa questão e na próxima pretendemos que o aluno discorra mais frontalmente a respeito

desses termos. Ficamos satisfeitos que, mesmo antes de serem inquiridos a esse respeito, nessa terceira questão, muitos alunos trouxeram esse termo em suas respostas às questões anteriores.

Tabela 23 – Exemplos de respostas dos alunos à terceira questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
<p>03A</p> <p><i>Hipóteses ad hoc são hipóteses “para isto” para certo problema. [...] São mais desejáveis para as teorias pois assim tem mais chances de serem aprovadas.</i></p>	<p>Apesar de ser possível entrever algum significado positivo em relação ao pretendido para a questão, em seu todo a resposta parece ser inconclusiva, sendo a parte inicial apenas uma reprodução do que foi lido nos textos.</p>
Indício fraco	Comentários
<p>03B</p> <p><i>Ad hoc são indesejáveis em uma teoria, já que são “desculpas esfarrapadas” [na] teoria original. [Exemplos disso foram] os epiciclos [...] e o planeta Vulcano.</i></p>	<p>Esse aluno parece ter se apropriado apenas do lado negativo das hipóteses ad hoc, esquecendo (ou não mencionando) dos contextos associados às confirmações das hipóteses.</p>
Indício moderado	Comentários
<p>04A</p> <p><i>As hipóteses ad hoc são hipóteses inventadas. A existência de Netuno é um exemplo que deu certo, ele realmente existe. Como contra ponto vem a hipótese da existência de Vulcano, que não foi encontrado [...].</i></p> <p>09B</p> <p><i>Hipótese ad hoc é algo utilizado para explicar o que a sua teoria não explica, ela é muito desejável quando é reforçada e reforça a teoria, porém quando ocorre o contrário elas são indesejáveis. [Por exemplo], no dia de prova todos os alunos ficaram eufóricos e a sala fica muito silenciosa durante a prova. As hoc: os alunos deixaram para estudar no dia ou um dia antes e não se sentem seguros com o que estudaram.</i></p>	<p>Apesar de sucinta, trazendo ainda a estranha sugestão de que são hipóteses “inventadas” (e quais não são?), a compreensão essencial do termo parece estar adequada.</p> <p>Compreensão adequada do conceito apesar de alguns pontos irregulares na redação, e uso de um exemplo próximo ao cotidiano escolar.</p>
Indício forte	Comentários
<p>13A</p> <p>Hipóteses ad hoc são hipóteses formada quando uma teoria, em algum ponto, não [se encaixa], então são criadas algumas hipóteses que tentam explicar aquele fenômeno, para que a teoria não seja descartada, pelo menos por enquanto. Não há nada de errado em construir uma hipótese ad hoc, mas elas devem ser [passíveis de serem] corroboradas. Exemplo: aquilo em cima da TV da sala B6 me prece uma câmera, mas porque estariam filmando alunos em sala? [...] Nada de interessante acontece na B6, então talvez seja só para evitar colas durante provas. Ou talvez seja uma espécie de antena peculiar para a recepção do sinal de TV.</p>	<p>A resposta demonstra bom entendimento da função das hipóteses ad hoc, e ilustra seu significado com um exemplo interessante. Poderia apenas complementar, mencionando maneiras de testar essas hipóteses.</p>

17B

Eu entendo como um complemento da teoria que explica alguma anomalia específica. Exemplo: a matéria escura e os epiciclos. Um exemplo mais simples: quanto mais se estuda, melhores as notas (eis uma teoria), porém, um aluno estuda muito e tira uma nota baixa. Irei criar um ad hoc para explicar essa anomalia: o aluno não interpretou corretamente a pergunta e respondeu erroneamente. [...]. [Essas hipóteses] são boas se a teoria explicou tudo e não foi encontrada [outra] anomalia, e são ruins se a teoria não conseguiu explicá-la.

Boa concordância com o uso que fizemos do termo ad hoc, com um exemplo que ilustra seu entendimento.

A quarta questão, à semelhança da anterior, também solicita ao aluno seu entendimento a respeito de um conceito específico da Natureza da Ciência discutida ao longo da implementação da unidade de ensino. Nesse caso, a *força heurística*. Também à semelhança da questão anterior, esse conceito apareceu diversas vezes nas respostas dos alunos, antes mesmo de serem questionados especificamente a respeito, o que também sugere uma adequada mobilização de suas aprendizagens. De todo modo, essa questão esteve presente no questionário para “garantir” que fosse contemplada nas explicações dos alunos, do que mostramos a seguir alguns exemplos.

Tabela 24 – Exemplos de respostas dos alunos à quarta questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
Sem exemplares.	As ocorrências de respostas inconclusivas para essa questão foram de ausência de resposta.
Indício fraco	Comentários
04A <i>Força heurística eu entendo por uma teoria verdadeira. [Por exemplo], Newton provou sua teoria e conseguiu explicar várias coisas. Já Einstein disse que a gravidade não tinha nada a ver com a distância e também é uma força heurística.</i>	Claro mal entendimento dos conceitos e uso de termos inadequados, ou, no mínimo, redação ineficiente em relação ao pretendido.
18B <i>Exemplo, algo está se movimentando com uma aceleração igual à da gravidade terrestre, então os objetos no interior de uma nave por exemplo “sentirão” como se estivessem sujeitos a gravidade [da Terra].</i>	Esse aluno claramente confundiu o significado de força heurística com o princípio da equivalência.
Indício moderado	Comentários
18A	

<p><i>Força heurística é a capacidade de prever dados e descobrir coisas [novas], no caso da Gravitação universal ocorreu com [a descoberta do planeta Netuno, ele foi descoberto a partir de uma hipótese ad hoc que solucionou o problema da anomalia de Urano.</i></p> <p>24B</p> <p><i>Força heurística é a capacidade de prever fenômenos ainda não conhecidos. [Exemplo]: Einstein, com seu princípio da equivalência, previu que uma mesma estrela fica em posições [aparentes] diferentes [com e sem o Sol nas proximidades], devido ao espaço curvo nas proximidades dos corpos celestes.</i></p>	<p>Bom entendimento geral do conceito.</p> <p>Sugestão adequada da definição do termo em seu sentido discutido em sala. Naturalmente não foi o princípio da equivalência em si, e sim a teoria que ele ajudou a estruturar.</p>
Indício forte	Comentários
<p>02A</p> <p><i>Força heurística é a capacidade que uma teoria tem de prever fenômenos ainda desconhecidos. Na teoria de Newton a força heurística é identificada quando [previu-se] a existência de um planeta: Netuno. Na teoria de Einstein notamos quando a teoria da relatividade previu a existência de buracos negros e que o universo está em expansão.</i></p> <p>06B</p> <p><i>Força heurística é quando uma teoria explica adequadamente um problema e também consegue prever fenômenos ainda não conhecidos [...]. É também a capacidade de uma teoria de permitir que haja uma progressão em suas explicações, ou seja, a teoria consegue explicar o que se pretende e permite o crescimento dessas explicações em outros contextos [...]. No caso da Gravitação de Newton, a força heurística [é ilustrada pela] descoberta do planeta Netuno. No caso da Gravitação de Einstein, [...] a observação da deflexão gravitacional da luz.</i></p>	<p>Boa lembrança de outros exemplos comentados em sala. Mais uma vez, relevamos as personificações da teoria.</p> <p>Resposta bastante completa, relevamos a última frase, que nos parece apenas um lapso linguístico. Naturalmente Einstein não previu a observação da deflexão, e sim a possibilidade dessa.</p>

A quinta e penúltima questão do questionário solicita ao aluno que ele se posicione como um juiz que precisa decidir entre teorias concorrentes, sugerindo critérios para se escolher a melhor teoria. Apesar de a questão não sugerir que esses critérios devam ser baseados nos elementos da Natureza da Ciência discutidos ao longo da unidade de ensino, seu propósito claramente remete a um uso adequado dos termos centrais discutidos. Ou seja, apesar de o aluno já ter sido solicitado a se posicionar em relação a alguns conceitos dos elementos da Natureza da Ciência estudados, com essa questão pretendemos avaliar em que medida o aluno mobiliza aqueles conceitos em uma argumentação a favor de uma teoria.

Tabela 25 – Exemplos de respostas dos alunos à quinta questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
09A <i>[...] Acho que para decidir qual das teorias é a melhor eu deveria saber um pouco sobre como foi feito o processo de pesquisa e então comparar os resultados finais para tentar compreender qual das teorias se encaixa melhor com o que podemos ver.</i>	A resposta traz alguns elementos coerentes, mas totalmente gerais, sem nenhum tipo de elucidação a respeito.
Indício fraco	Comentários
03A <i>A que é mais aceita, a teoria que melhor explica o assunto, que tem núcleo forte e teoria ad hoc, uma teoria que tenha força heurística, analisar os métodos científicos que foram utilizados.</i>	Confusão típica (conceitos misturados aleatoriamente) de um mal entendimento dos termos estudados.
26B <i>Acho que eu consideraria principalmente o número de vezes que foi feito o experimento que comprova a teoria. [...] Além disso eu iria observar os fatos ocorridos e ver qual teoria se encaixa melhor [...].</i>	Apesar de sugerir um aspecto que consideramos adequado (a adequação da teoria ao fenômeno que pretende explicar) ao final, essa resposta não traz nenhum conceito objetivo para sua justificativa e, o mais grave, começa com uma noção clara de senso comum.
Indício moderado	Comentários
05A <i>Qual tem uma força heurística maior, qual tem mais hipóteses ad hoc confirmadas e qual explica melhor o fenômeno.</i>	A resposta traz alguns elementos discutidos, apesar de bastante sucinta.
23B <i>[...] Verificaria se os ad hocs [utilizados] não geraria outros ad hocs inúteis, [...] iria também testar [suas previsões], sua força de funcionamento de frente com outros fatos, digamos que a teoria explica “tudo” sobre algo, eu tentaria mudar [esse algo] para ver se ela se adaptaria bem ou não, se precisaria de ad hocs ou não. [...].</i>	Apesar da redação truncada, a resposta parece sugerir elementos coerentes com os assuntos discutidos.
Indício forte	Comentários
18A <i>A força heurística [de cada uma], a sua capacidade de falseamento ou corroboração. Os programas de pesquisa, quando colocados frente a frente, [devem ser avaliados em relação] a qual explica melhor os fenômenos, ou seja, qual obteve mais avanços em relação aos problemas encontrados anteriormente. Com esses elementos, podemos escolher a melhor teoria, ela passa a ser a mais aceita.</i>	Uso adequado dos conceitos discutidos em sala, com a importante sugestão de que a teoria escolhida é a “melhor” e “mais aceita”, o que indica um bom uso da ideia de superioridade de uma teoria sem incorrer na noção inadequada de essa teoria ser a correta ou verdadeira (justamente o que será abordado na próxima e última questão).
09B <i>Eu decidiria a melhor teoria baseada em sua força heurística, e na quantidade de ad hocs que uma</i>	

teoria tem e quais deles são comprovados e quais não são, após isso analisaria cautelosamente seus experimentos.

Apesar de sucinta e não detalhar a “análise dos experimentos”, a resposta traz o essencial segundo os assuntos discutidos.

A sexta e última questão é uma complementação da questão anterior, ao solicitar que o aluno discorra o que ele pensa a respeito da eficácia dos elementos descritos nessa questão, ou seja, se esses elementos garantem a escolha pela teoria mais correta ou verdadeira. Essa questão traz claramente dois termos considerados por nós como inadequados em relação à Natureza da Ciência discutida, e se constitui, portanto, como uma “meta-questão” no sentido de avaliar em que medida o aluno identifica esses termos como inadequados (o que reforça o solicitado pela primeira afirmativa da primeira questão), além de avaliarem seus critérios pela melhor teoria como garantia de sucesso. Um problema que acabou passando despercebido (apesar da evidente contradição *a posteriori*, depois de sua ciência) pelos testes de validação do questionário foi a construção da frase ao seu final: “teoria mais correta ou verdadeira” foi colocada aqui, em sua intenção original, como adjetivos que se fortalecem (*verdadeira* em complementação ao *mais correta*), mas alguns alunos, de forma agora vista como totalmente compreensível, entenderam como adjetivos em exclusão (corretas *ou* verdadeiras?), ou seja, esses alunos entenderam que era para dizer se era um ou outro caso. De todo modo, pensamos que o resultado geral para essa questão tenha ficado satisfatório, com o *mais correta* sendo relevado como *a mais adequada*, do que apresentamos os exemplares a seguir.

Tabela 26 – Exemplares de respostas dos alunos à sexta questão.

Respostas inconclusivas	Comentários
05A <i>Na minha opinião sim, pois se a teoria tem uma grande força heurística ela tem uma maior capacidade de prever os fenômenos.</i>	Além de tautológica, essa resposta não permite que possamos averiguar seus motivos para a afirmação realizada.
Indício fraco	Comentários
03A <i>Sim, pois a teoria verdadeira tem que ser cientificamente provada.</i>	Uso dos termos inadequados que desejamos fazer com que os alunos superem.
Indício moderado	Comentários
01A <i>Garantem a escolha da teoria mais correta, pois as teorias estão sempre se modificando, é isso que faz com que elas possuam cada vez mais força</i>	Percebendo todo o contexto da resposta, é possível relevar o <i>mais correta</i> como sinônimo de melhor ou mais adequada. E o aluno parece indicar que tudo o

heurística, poder explicativo. Não podemos adotar uma teoria como sendo verdadeira e inquestionável, pois posteriormente pode se [mostrar] o contrário. Exemplo disso é a Gravitação de Newton que todos achavam ser inquestionável, porém depois a Gravitação de Einstein se tornou mais correta.

22B

Hoje sabemos que o heliocentrismo [...] demonstrou mais força heurística e menos hipóteses ad hoc não corroboradas. E geocentrismo, entretanto, foi acumulando ad hocs não corroboradas e foi ficando para trás. Essa é uma corroboração de que esses elementos apontam para a teoria mais correta.

que podemos fazer é escolher a teoria mais adequada, e não a verdadeira no sentido de ser a verdade final.

Apesar de ter o entendimento do “mais corretas” opção frente ao “verdadeiras” (mais uma vez, por culpa de nossa redação), esse aluno parece fazer a melhor escolha nesse sentido, ou seja, seu exemplo mostra uma preferência pela teoria progressiva.

Indício forte	Comentários
<p>18A</p> <p><i>Bom, não há como provar se uma teoria é totalmente verdadeira. O que podemos dizer é que ela é a melhor desde que continue em progressão ou que não haja [no momento] teorias que venham ser melhores, com os elementos citados [na questão anterior]. Assim, os avanços científicos ocorrem e várias vezes teorias são consideradas boas até que seu programa de pesquisa fosse comparado com o programa de pesquisa de outra teoria que estivesse tentando explicar o mesmo fenômeno.</i></p> <p>16B</p> <p><i>Não, não há nenhum tipo de método que possa, com certeza, garantir a veracidade de uma teoria, pois a qualquer momento uma anomalia pode surgir. Acho que o máximo que podemos conseguir é uma teoria que se encaixe melhor do que outra para algum fenômeno. [...].</i></p>	<p>Resposta bastante adequada em relação ao pretendido, sugerindo claramente que os critérios discutidos podem indicar a escolha pela melhor teoria em um determinado momento, mas que não há garantias de que não haverá uma ainda melhor.</p> <p>Essa resposta representa exatamente o tipo de compreensão que pretendíamos: a noção de que nossos guias heurísticos são compõe nossas melhores tentativas de explicação. Nem verdadeiras, nem mais corretas... apenas as que respondem melhor (com todos os termos discutidos que justificam o que consideramos ser “melhor”).</p>

6.3 O retorno dos professores

Após a finalização da implementação da unidade de ensino, conduzimos uma entrevista com cada professor, para averiguar alguns aspectos a respeito de suas visões sobre as atividades realizadas. As informações obtidas com essas entrevistas formam um importante conjunto de dados utilizados para tecermos nossas considerações à guisa de conclusão de nosso trabalho, mais à frente.

Após marcar um dia e horário convenientes com cada um dos professores, reservamos um dos laboratórios de física do IFSC para realizar a entrevista com tranquilidade. Com a ciência e concordância dos professores, as entrevistas foram gravadas em áudio e após transcritas para extrairmos significados de suas falas, por meio de uma codificação dos elementos centrais de suas respostas. Essa codificação, segundo Charmaz,

[...] significa categorizar segmentos de dados com uma denominação concisa que, simultaneamente, resume e representa cada parte dos dados. Os seus códigos revelam a forma como você seleciona, separa e classifica os dados para iniciar uma interpretação analítica sobre eles (Charmaz, 2009, p. 69).

Mostramos a seguir um exemplo desse processo, realizado com ambos os professores entrevistados. As transcrições completas estão nos apêndices N e O.

Quadro 10 – Extrato das entrevistas com os professores

Entrevista transcrita	Codificação
<p><i>Professor B</i> [...] É, depende do conteúdo, mas no geral, duas vezes por ano, uma vez a cada semestre, é... algum pedaço, eu apresento um vídeo, ou eu mesmo faço uma discussão, apresento um pequeno texto, geralmente um vez por semestre. [...]</p>	<p>Frequência de trabalho com a história e filosofia da ciência. Semestralmente.</p>
<p><i>Professor B</i> [...] Depende do material que eu consigo arrumar. Porque eu produzir material é complicado, demoraria mais de um mês,</p>	<p>Dependência de materiais disponíveis.</p>

<p><i>dois meses, para eu produzir material original. Então a dificuldade tá em encontrar um bom material, então às vezes você encontra um vídeo, mas às vezes aquele vídeo não é tão bom, porque ele apresenta, ele mostra uma visão mais inadequada da ciência, então você tem que fazer esse filtro, né, então mesmo usando o seriado Cosmos, que é muito bom, mas ele remete a certas visões que às vezes não são muito adequadas, né, então você tem que fazer esse filtro, então às vezes é difícil encontrar um bom material. [...].</i></p> <p><i>Professor A</i> <i>[...]Então isso é uma coisa que eu aprendi com a unidade que eu acho que vou levar, no caso, pro resto de minha carreira. Mas eu admito que quando eu comecei a ler os textos, né, também lá sobre Lakatos, eu vi que eu não sabia muita coisa sobre isso não. [...]</i></p> <p><i>Professor A</i> <i>[...] primeiramente eu costumo comentar brevemente no início de cada novo conteúdo, digamos, as aulas introdutórias [...].</i></p>	<p>Problema em encontrar materiais.</p> <p>Necessidade de se fazer transposições de materiais disponíveis.</p> <p>Professor sugere uma influência duradoura do material trabalhado, em sua prática.</p> <p>Abordagem da história e filosofia da ciência no início dos conteúdos.</p>
---	--

Para ambos os professores, utilizamos um roteiro de entrevista (apêndice M) previamente formulado para contemplar nossas questões de pesquisa. Esse roteiro serviu de base para a condução das perguntas, mas, naturalmente, em função das respostas dos professores, fizemos algumas interferências e perguntas adicionais. Essas estão em itálico nas referidas transcrições. Ainda, devido às particularidades de cada professor, por vezes uma pergunta foi feita em ordem diferente da apresentada no roteiro, embora em nossa discussão, aqui, procuramos seguir essa ordem.

Comentaremos a seguir, em caráter mais geral, o retorno dos professores, e fazemos no próximo item (6.4) uma análise mais sintética desses resultados, procurando, juntamente com as demais informações obtidas na pesquisa, por meio das produções dos alunos e de nossas observações, tecer respostas às nossas questões de pesquisa.

Começamos então as entrevistas perguntando se os professores costumam comentar a respeito do funcionamento da ciência em suas aulas. Pela fala integral do professor A percebemos que sua relação com a Natureza da Ciência está próxima de um senso comum que vê alguns

aspectos da Natureza da Ciência como complemento ou contextualização de tópicos de física, sem uma relação intrínseca ao processo de ensino, conforme o seguinte extrato:

É, então... primeiramente eu costumo comentar brevemente no início de cada novo conteúdo, digamos, as aulas introdutórias. [...] Mas também não abro muito a discussão com a turma, sobre como aqueles estudiosos ou como aquelas pessoas citadas no texto chegaram a tal conhecimento (Professor A).

Não vemos necessariamente esse senso comum como uma limitação em relação ao professorado como um todo, uma vez que esse tipo de abordagem mais compromissada, como a que propomos em nossa pesquisa, apresenta-se como uma forma e uma especificidade, entre tantas outras, de se pensar a respeito do ensino de física. Mas pelas falas do professor B, percebemos que ele se aproxima da de nossa proposta, demonstrando uma preocupação com o contexto do surgimento de algumas ideias, embora faça um trabalho maior a esse respeito cerca de uma vez por semestre.

Não em todo o conteúdo que eu abordo, né, porque ficaria difícil, mas em alguns pontos chave eu acho importante comentar sobre o funcionamento, porque ajuda na compreensão do porquê que o cientista pensou aquilo. Então, por exemplo, [as Leis de Newton] funcionam na Terra, então porque não vão funcionar lá em cima? Então dá um entendimento, a generalidade das leis da ciência, e de que elas têm um contexto importante do qual elas surgem, né (Professor B).

Também consideramos que tratar do funcionamento da ciência nas aulas de física é algo que não precisa, em princípio, ser algo constante, em cada conteúdo que vai ser discutido junto aos alunos. E alguns conteúdos são mais oportunos de se fazer esse tipo de discussão de forma mais pormenorizada, do que se pode justificar o “uma vez por semestre”, conforme transcrição integral. De todo modo, nosso modo de ver esse assunto é distinto, conforme discutiremos no próximo item de nosso trabalho, e também em nossa conclusão.

Como esse professor respondeu que trabalha com uma certa frequência com o funcionamento da ciência, perguntamos se ele costuma abordar esse tema de alguma forma específica.

Depende do material que eu consigo arrumar [...]. [...] a dificuldade tá em encontrar um bom material, então às vezes você encontra um vídeo, mas às vezes aquele vídeo não é tão bom, porque ele apresenta, ele mostra uma visão mais inadequada da ciência, então você tem que fazer esse filtro, né, então mesmo usando o seriado *Cosmos*, que é muito bom, mas ele remete a certas visões que às vezes não são muito adequadas, né, então você tem que fazer esse filtro (Professor B).

Vemos na resposta integral do professor, transcrita no apêndice O, um forte indício a favor da produção de materiais voltados a esse tema, sendo que sua forma de abordar a Natureza da Ciência está vinculada ao material disponível para isso. Compactuamos com o comentário de que o professor preocupado com essas questões deve saber discernir as informações que são apresentadas por alguns materiais, o que vai ao encontro do modelo de raciocínio e ação pedagógicos sugeridos por Shulman (1987), mais particularmente a sub-etapa *adaptação e corte para as características do estudante*.

Consideramos oportuna a citação do professor sobre o seriado *Cosmos*, que também usamos em nossas aulas por seu apelo visual, e pensamos que, à semelhança do professor, nada pode ser levado aos alunos sem um mínimo de transposição adequada. Apesar de o apresentador Neil Tyson ser bastante comunicativo e apresentar a ciência de maneira (positivamente?) romanceada, por vezes incorre, em suas narrativas, a um discurso empirista ingênuo²⁷.

Em nossa próxima pergunta, sobre como o professor avalia a intenção de se abordar os elementos da Natureza da Ciência no ensino básico, obtivemos uma boa receptividade sobre essa intenção, embora o professor B tenha se mostrado mais enfático a esse respeito. O professor A comenta:

²⁷ Embora pensemos que, quando se trata de divulgação científica, esse tipo de análise seja mais complexo.

Eu acredito ser muito importante, digamos, os alunos entenderem essa forma de desenvolvimento da ciência... como se desenvolvem as teorias, pra justamente desmistificar aquela coisa do cientista gênio que criou tudo a partir de um estalo, do nada, digamos assim [...]. Dificilmente [os alunos] vão ler livros específicos, então... por isso que eu acho que é muito importante colocar, brevemente, incluir nos conteúdos algo sobre o desenvolvimento da ciência, né (Professor A).

O professor sugere como algo positivo a intenção de se trazer esses assuntos para o ensino básico, focando na desmistificação de alguns aspectos da atividade científica. A sugestão do professor, na entrevista integral, de que é importante colocar “brevemente” esses assuntos ao longo dos conteúdos de física, pode indicar que esses assuntos são, mais uma vez, complementares aos assuntos trabalhados nas aulas de física.

Concordamos com o tom geral dessa proposta, apesar de insistirmos que consideramos essa intenção como condição necessária e não suficiente para permitir ao aluno uma efetiva apreensão de alguns elementos adequados em relação à atividade científica. Esses elementos da natureza precisam estar amalgamados em boa medida com os assuntos trabalhados em física, se nossa intenção for realmente superar algumas visões inadequadas a respeito da atividade científica.

O professor B, como mencionamos, foi mais enfático a esse respeito, sugerindo ainda que essa forma de abordar a ciência deve ser uma entre necessárias outras. *“Eu entendo que é extremamente desejável. Porque eu entendo que não deveria existir uma única maneira de se abordar a ciência na educação básica”* (Professor B). Em sua resposta integral a essa pergunta, o professor ainda sugere que “a nova geração” de pesquisadores em ensino tem se preocupado mais com a educação básica, do que não estamos certos.

Sobre uma autoavaliação a respeito de seus próprios conhecimentos a respeito da Natureza da Ciência, o professor A foi mais reticente, apesar de o professor B também demonstrar uma autocrítica a esse respeito (mesmo se tratando de um profissional com alguma experiência na área): *“[...] eu considero que meu conhecimento ainda é um mínimo necessário, mas não considero satisfatório. Não considero ainda, pessoalmente”*. O professor A menciona:

[...] eu considero que meus conhecimentos sobre Natureza da Ciência, dessa forma como ela foi trabalhada nessa unidade de ensino, elas não estão num nível, que eu, por conta própria, me atreveria, no caso, a ministrar uma aula no ensino médio (Professor A).

Embora ambos os professores tenham se demonstrando críticos em relação aos seus próprios conhecimentos a respeito da Natureza da Ciência, reiteramos que ambos demonstraram, desde o início de nossas conversas, um interesse por questões sobre história e filosofia da ciência. Do que se pode indagar, se profissionais com certo conhecimento e interesse na área (e talvez autocríticos justamente por isso?) não se consideram suficientemente conhecedores do assunto, o que dizer de outros professores que não partilham do mesmo interesse?

Entrando na parte da entrevista voltada agora às atividades realizadas ao longo da unidade de ensino e ao material produzido para esse fim, perguntamos primeiramente a respeito dessa unidade como um todo, sobre como o professor avalia sua estrutura. Tivemos, ao nosso ver, uma receptividade muito positiva a esse respeito, apesar de algumas importantes ressalvas a serem relevadas. O professor A comenta:

[...] eu achei que ela foi bem clara, e ela segue um norte, que é chegar à conclusão que uma teoria, ela nunca está terminantemente fechada, ou acabada, enfim, ela é suscetível a mudanças. E eu acho que isso ficou bem claro, né. Os textos eu achei que ficaram excelentes, a linguagem do texto ela é clara e acessível, principalmente pro aluno, né, e junto com as figuras e com a própria apresentação dos slides, eu acho que ficou muito fácil a compreensão [...] (Professor A).

O professor B também demonstrou uma boa receptividade em relação à unidade como um todo:

No geral ela tá muito bem estruturada. Ela tem textos bem construídos, que não são cansativos pro aluno, que trazem coisas que eles nunca viram no livro didático e nem em outras fontes. Então... as apresentações estão bem conectadas com o texto, elas complementam bem o texto (Professor B).

Na resposta integral do professor A, notamos uma primeira parte indicando uma recepção bastante positiva em relação ao material produzido, os textos e apresentações eletrônicas. O professor enfatiza a clareza desses materiais e a receptividade dos alunos, que também consideramos muito boa, principalmente com a turma trabalhada por esse professor. O professor comenta sobre como em alguns momentos ele “alongou” as discussões, o que, conforme comentamos no relato das aulas, parece ser uma característica da turma: se realmente não houver uma intermediação adequada, os alunos começarão a divagar a respeito de assuntos cada vez mais tangenciais em relação ao foco da discussão pretendida. Consideramos que as dispersões observadas refletem a curiosidade dos alunos a respeito dos temas em discussão, sobre os elementos da Natureza da Ciência discutidos e sobre a física moderna em questão, assunto onde os alunos fizeram muitas perguntas, que por sua vez geraram questões bastante imprevistas em relação aos assuntos centrais. Some-se a isso o perfil do professor, que costuma conceder um tempo considerável a essas discussões (o que consideramos, em princípio, como algo bastante positivo), e os alunos poderão ficar literalmente a aula inteira comentando a respeito de suas múltiplas curiosidades.

Ao nosso ver, a participação de alguns alunos deve, pois, ser cuidadosamente gerenciada, para se obter o melhor denominador comum entre a) a resolução de suas dúvidas, b) a participação dos outros alunos, e c) a continuidade do andamento da unidade de ensino. Naturalmente, e assim como o “método científico”, não temos receitas prontas nesse sentido, e cada caso será um caso. O que o professor sugeriu, em sua resposta integral, como dispersão e “falta de trabalho” dos alunos se encaixa, vemos, em uma distribuição heterogênea dos itens acima, em um ou outro momento, o que julgamos absolutamente inevitável em qualquer sequência didática como a que engendramos.

Consideramos que a sugestão do professor, a respeito da atividade sobre as hipóteses, realmente envolveria os alunos em uma extensão bastante interessante da noção de hipóteses e testes, mas enfatizamos que, apesar de perfeitamente factível, pensamos que foge dos propósitos da unidade como um todo. Não pretendemos levar o aluno a uma posição de “cientista mirim” no sentido de reproduzir os assuntos estudados em sala, e sim apresentar situações que o leve a pensar a respeito, para superar o quanto possível alguns aspectos inadequados a respeito da atividade científica. Mas julgamos que atividades como a sugerida pelo professor sejam positivas em um sentido mnemônico, e possam ser efetivamente realizadas em outras implementações.

O professor B, em sua resposta integral, fez uma avaliação positiva em relação à estrutura geral da unidade, fazendo um bom apanhado de seus elementos, e já se adiantou em relação a alguns aspectos dificultosos (pergunta específica feita mais à frente), relacionados ao entendimento de algumas questões. Conforme já sugerimos no item sobre o retorno dos alunos ao questionário, houve problemas de compreensão em relação à última questão feita, por exemplo, sobre se os elementos descritos pelo aluno, sobre a escolha entre teorias, garantiam a escolha pela teoria verdadeira ou correta. Pensamos que simplesmente excluir o termo “correta” já propiciaria um contexto mais claro ao aluno: afinal as melhores teorias de que dispomos são “verdadeiras”? Mas, como também já comentamos naquele item, apesar de esse problema de entendimento ter se destacado por sua ocorrência em relação às outras questões, de modo geral consideramos que houve um retorno satisfatório (na turma B, 17 alunos entre 26 responderam conforme o pretendido para a questão, ou seja, identificaram esses termos como inadequados). Mas certamente refaremos a questão em outras implementações, para evitar esse problema.

O professor B sugere ainda que sentiu falta de uma maior “triangulação” entre os conceitos de força heurística, hipóteses ad hoc e cinturão protetor. Em princípio, vemos que, se o aluno compreendeu a noção de ad hoc e sua dinâmica com teorias progressivas e regressivas, o cinturão protetor passa a ser um conceito adicional, que estende a noção de hipóteses ad hoc. Mas revisitaremos os textos para avaliar essa sugestão do professor.

Perguntamos a seguir ao professor a respeito de sua visão a respeito da eficácia da unidade de ensino, no sentido de mobilizar o interesse do aluno e propiciar a ele os elementos básicos da Natureza da Ciência propostos. Lembrando de Gowin, quando sugere que o entendimento do aluno costuma vir acompanhado de uma reação positiva a esse respeito, o professor A lembra do momento onde os alunos teceram considerações a respeito de trechos de textos sobre a atividade científica:

Então, eu acredito que foi muito válido, também até observando o comportamento dos próprios alunos. Isso pode ser visto quando eles responderam aquelas questões relacionadas aos extratos dos textos, dos livros didáticos. Muitos alunos riram, eles riam da forma como era afirmado e como era colocada no livro, né, principalmente em relação à queda da maçã. Então essa reação do aluno, com

aquela afirmação, e exporem o porquê que isso não pode ser admitido como verdade, eu acho que já... isso já é um sucesso, digamos assim, da própria unidade de ensino. Já mostra que alguma coisa já ficou com eles (Professor A).

Pudemos constatar a partir do retorno dos alunos, de forma geral, que realmente “alguma coisa ficou com eles”, como o professor A disse, ou seja, essa percepção do professor também é compartilhada por nós, como melhor discorreremos na sequência desse trabalho. Também consideramos interessantes as reações dos alunos na atividade sobre os trechos dos livros didáticos, conforme relatamos nessa seção, anteriormente. O professor parece ter percebido o “tom geral” da turma em relação à nossa proposta como um todo, que realmente esteve ao encontro de nossas expectativas (ainda que com aspectos a melhorar, como discutiremos em nossa conclusão).

O professor B também foi positivo em sua avaliação:

Considerando que essa é certamente a primeira vez que eles têm contato com uma discussão desse tipo, então a eficácia foi muito grande. Porque eles partiram do zero, praticamente, não necessariamente todos, né, mas... saíram praticamente do senso comum, e eles conseguiram se apropriar de pelo menos dois conceitos fundamentais, que é a força heurística e explicação ad hoc (Professor B).

Apesar de o professor B ter exemplificado a apreensão dos alunos por meio dos conceitos de força heurística e explicação ad hoc, consideramos, naturalmente, que a abrangência de seus significados seja muito maior, como apontaremos mais adiante. De modo geral, ambos os professores demonstraram uma ciência adequada em relação ao impacto da proposta sobre os alunos, e também em relação às possíveis otimizações do material, como veremos, o que também sugere uma postura consoante com o modelo de raciocínio e ação pedagógicos proposto por Shulman, como vimos na seção 3.2, que utilizamos como referência na elaboração de nossas atividades.

Ambos os professores fizeram, em suas respostas integrais até esse ponto do roteiro de entrevista, alguns apontamentos a respeito de algumas limitações do material e dificuldades ao longo dos trabalhos com ele, mas fizemos na sequência a pergunta do roteiro específica a esse respeito, ou

seja, sobre quais dificuldades o professor encontrou ao trabalhar com essa unidade de ensino. Percebemos que o professor A foi mais específico em relação às atividades desenvolvidas e o professor B comentou sobre elementos mais abrangentes da educação. O professor A comenta:

Assim... eu posso dividir essas dificuldades em duas classes, digamos. Uma dificuldade minha, como professor, e outra dificuldade, no caso, da relação professor-aluno, professor-turma, no caso de desenvolvimento de uma aula. As mais relevantes que eu cito pode ser o que: a atenção da turma durante todo o período de discussão dos textos, aí retorna aquela discussão das questões anteriores, de que eu posso ter deixado muito tempo aberto, ou deixar os alunos divagarem muito, né, então isso acabou... às vezes saía daquela linha de raciocínio que a gente estava, e a turma dispersava um pouco [...] Eu percebi que meio que polarizou algumas partes da sala. Alguns alunos contribuíram muito, que às vezes tinha que até tentar cortar levemente, pra eles não tomarem conta da aula, e alguns não contribuíram nada. Esse é outro problema que eu não atribuo à unidade de ensino em si, porque é uma coisa inerente à turma. Quando o aluno é mais fechado, ele é mais fechado e não vai contribuir mesmo. E eu como professor, no caso, eu tive dificuldade porque eu não conhecia, por exemplo, a filosofia de Lakatos. Além disso, alguns conteúdos lá da relatividade geral, por exemplo, eu tive que reestudar, pra eu não dar bobeira lá (Professor A).

Parece que o problema maior, segundo o professor, é justamente a dinâmica de envolvimento da turma e sua gerência adequada. Nesse sentido, concordamos com o professor que isso seja um elemento mais associado às características da turma do que propriamente da proposta oferecida a eles. O professor cita, em sua resposta integral, o problema de seu desconhecimento da epistemologia trabalhada com os alunos, apesar de não ser nossa intenção que o professor seja necessariamente conhecedor desse tema para trabalhar com o material, uma vez que nossos esforços pretenderam contemplar o cuidado didático desse, inclusive ao professor, com o texto a respeito da filosofia de Lakatos. Pensamos que esse tipo de dificuldade é esperada e comum em qualquer proposta que

traga elementos não tradicionais ao ensino de física, nesse nível de ensino (e, por se tratar do Ensino Médio, isso vale também para a Gravitação de Einstein). Ficamos agradecidos com a probidade do professor, e percebemos que sua condução dos assuntos sobre a epistemologia esteve bastante adequada aos elementos trazidos no texto a esse respeito.

O professor B, como mencionado, fez algumas considerações de âmbito mais geral da educação:

A dificuldade é porque quando você trabalha com outra perspectiva filosófica, você quer alargar o horizonte epistemológico do aluno, enquanto a educação geral... ela faz o contrário, na educação básica, né, ela estreita o horizonte epistemológico do aluno, apresentando conteúdos de ciência despersonalizados, descontextualizados, dessincronizados... quando você quer alargar o horizonte epistemológico, você tem que refazer o contrato didático do aluno. Pra mim essa é a maior dificuldade. E mudar esse contrato com um trabalho é pequenininho, um mês, não dá, você vai perturbando o contrato didático ao longo de um ano inteiro pra você obter um resultado. Então a dificuldade tá ali... alguns alunos não compreenderam qual era a proposta... que era ler, era discutir, era perguntar, era... confrontar o colega e fazer uma discussão com ele. Esses alunos ficaram calados, e pelas respostas na avaliação não se apropriaram dos assuntos (Professor B).

E apesar da constatação de que alguns alunos não se apropriaram dos assuntos, pensamos julgamos bastante importante outro trecho da resposta do professor:

[...] ah, uma coisa, eles pediram pra fazer isso ano que vem de novo. “Professor, ano que vem vamos fazer isso de novo com outro conteúdo?”. Eles vieram solicitar isso. Eles gostaram de fazer um estudo de ciência que não fosse operativo, né, de fazer cálculos, mas fosse histórico filosófico. Então

os alunos pediram, esses alunos que participaram querem de novo, e os alunos que ficaram muito quietos na sala de aula já têm essa característica, de não participar muito, tá, esses alunos daí... a dificuldade foi que eles não se apropriaram da nova proposta. Enfim, tem que fazer o trabalho de novo, tem que insistir com esses alunos, que uma hora eles entram na jogada, entendeu, é que tem que insistir mais com esses alunos, normal, né? (Professor B).

Inicialmente o professor comenta a respeito de uma dificuldade extrínseca ao material, que seria o rompimento com uma forma hegemônica de ensino que funciona por meio de uma transposição que retira o pensamento histórico e epistemológico dos conteúdos de física. Naturalmente, também vemos em propostas como essa uma perturbação no *modus operandi* típico escolar. E pensamos que isso é, em princípio, algo positivo. Sobre o trabalho específico com o material, o professor lembra dos alunos que foram pouco participativos, não tendo o mesmo aproveitamento que outros alunos, conforme indícios obtidos ao longo das aulas e com o questionário. Mas conforme o professor, esses alunos parecem possuir essa idiossincrasia, mesmo anteriormente à implementação da unidade de ensino. Concordamos que se deva sempre insistir com esses alunos.

Complementando a pergunta anterior, questionamos a respeito de quais elementos o professor mudaria nesta proposta. O professor A responde:

[...] achei os textos muito interessantes, né, mas mudaria... os textos não, as apresentações também não, talvez diminuir o tempo de discussão. Né, porque duas aulas foi muito... como a gente já comentou, alguns alunos começaram a divagar muito, então tentaria acelerar a discussão, por mais que ficasse até um pouco corrido, evitando a dispersão da turma. Outro ponto, que já comentei, seria essa proposta dos alunos formularem as hipóteses, mas não só formularem, e irem atrás e tentar corroborar ou não aquelas hipóteses deles. Mesmo com coisas bem simples, como os furos na parede, ou porque a árvore está torta, esse tipo de coisa (Professor A).

Em sua resposta o professor sugere uma diminuição no tempo para as discussões, apesar de considerarmos que isso seja mais uma questão de condução da turma do que propriamente do planejamento da aula. De todo modo, concordamos que seja possível otimizar o tempo destinado às discussões, desde que isso não represente uma diminuição no envolvimento coletivo da turma.

O professor B sugere brevemente:

O que eu trabalharia primeiro é incluir um momento extra que seria usando alguma metodologia... de debate, como um júri simulado. E estimular que o aluno defenda um lado que ele não concorda, que ele se aproprie daqueles argumentos pra defender (Professor B).

Julgamos pertinentes as observações do professor, e consideramos importante mencionar que uma atividade de júri simulado foi pensada ao longo de nossos planejamentos das aulas, mas por questões de calendário acadêmico (afetado por uma greve em ambas as instituições de ensino), tivemos que fazer alguns ajustes para contemplar o que julgávamos essencial. Não temos dúvidas de que esse tipo de atividade pode ajudar no processo de mobilização dos conhecimentos apreendidos pelos alunos, e pretendemos contemplar parte dessa intenção com a atividade sobre os pareceres dos trechos dos livros didáticos, a respeito de alguns elementos da atividade científica. A julgar pelo resultado geral das respostas ao questionário, pensamos que os alunos entenderam em boa medida as questões solicitadas. Mas concordamos, conforme já sugerimos e ainda discutiremos mais à frente, que alguns pontos podem ser melhorados.

Aproximando-se do final da entrevista, perguntamos aos professores se eles usariam materiais como esse mais frequentemente em sua prática, caso fossem mais acessíveis, em livros e sites, por exemplo. O professor A, em sua resposta integral, tece algumas sugestões a respeito do trabalho com propostas semelhantes. Diretamente sobre a pergunta, comenta:

[...] isso poderia ser utilizado já no primeiro ano, já nas primeiras aulas, fazer algo... pra eles pensarem mesmo. Pra eles discutirem, pra física não começar já no primeiro ano com aquela coisa, com aquela matematização. O aluno já vai ter um outro olhar, “ôpa, mas física não é só número?” [...] Então, se

tivesse mais acesso, eu usaria com certeza (Professor A).

O professor A sugere que esse tipo de proposta poderia se estender a outros conteúdos (sendo que as pesquisas em ensino de física efetivamente têm propiciado outras propostas semelhantes, conforme discutimos no capítulo 1). Alguns anseios do professor também são os nossos, como trazer esse tipo de discussão já para o primeiro ano do Ensino Médio.

O professor B enfatiza a questão da disponibilidade de materiais:

Olha, mesmo que assim... olha, é minha experiência pessoal, eu também trabalho com essa área, e mesmo eu que trabalho nessa área tenho dificuldade de fazer [materiais], então imagina quem não trabalha. Então multiplica por dez a dificuldade, então... é claro que a dificuldade de incorporar isso no Ensino Médio é a disponibilidade do material. [...] A realidade do Brasil é que, como falta professor, falta professor de ciências, falta professor de física, os professores têm que dar “trocentas” aulas, a realidade é que o professor tem muito pouco tempo de preparação, então fica impossível o professor do Ensino Médio preparar material, então esse material tem que aparecer. E tem que aparecer já com uma proposta didática, de aplicação, entendeu, como foi a tua proposta. Aquilo... veio uma proposta já estruturada, de como aplicar, de sugestão de avaliação, de atividades, e isso aí facilita por demais assim... pra você aplicar, então o professor se sente seguro de que alguém mais experiente, e que estudou muito aquele tema, estruturou... fica um chão mais seguro (Professor B).

Também concordamos que a disponibilidade de materiais deve ser uma preocupação, mas, naturalmente, pensamos que a disponibilidade é condição necessária, mas não suficiente, para se promover um ensino mais preocupado com questões a respeito da Natureza da Ciência. A logística, política e acadêmica, de fazer esses materiais chegarem ao professor é um fator de primeira urgência, e com nosso trabalho pretendemos tecer algumas sugestões, em nossa conclusão, a esse respeito.

Como percebemos um pouco de resistência à leitura dos textos, por parte da turma B, finalizamos a entrevista com o professor B perguntando sobre sua visão a respeito do uso dos textos nas aulas, e também sobre novas possibilidades de se usar o material produzido para a unidade de ensino.

O Brasil tem um problema de leitura, com os alunos. Os alunos não leem. Mas os alunos têm que ler! Então é lógico que não é fugindo desse problema... não, tem que trabalhar com texto sim [...] E eu não vejo problema estrutural no texto. É um texto que tá no tamanho certo. Não é cansativo de ler aquele texto. É um texto adequado pra o Ensino Médio. Então pra mim tem que continuar trabalhando com texto. O que poderia ser feito é trabalhar com hipertexto (Professor B).

Complementando essa questão, perguntamos ao professor se ele usaria esse material em forma de hipertexto, do que ele responde:

Com toda a certeza! Sem dúvida nenhuma. E seria até interessante incluir nesse site alguma coisa formativa para o professor que vai usar. Se isso estiver em um hipertexto, num site, acho que vai ser fantástico, pro aluno poder usar, usar no celular em sala de aula, consultar o hipertexto, ler o texto até no celular, ler num tablet... seria a cereja do bolo, ser transformado em hipertexto. E como eu falei, não tem que fugir do texto. Tem que incorporar coisas ao texto (Professor B).

Estaremos, a partir de agora, estudando adaptações no sentido de contemplar essa sugestão do professor, que naturalmente é também nossa intenção. E também concordamos a respeito de que não se pode prescindir do uso de textos em atividades correlatas. Em sua resposta integral, o professor sugeriu ser “conservador” a esse respeito, dizendo que não se pode “fugir” do uso de textos, o que não consideramos um conservadorismo, ao menos não em um sentido de reacionarismo didático. Pensamos que, e também à semelhança do professor, esse tipo de tema exige textos que guiem a sequência didática, com as características já discutidas na seção sobre Gowin. E talvez sejamos ainda mais “conservadores” no sentido de que, ao nosso ver, o trabalho com

textos é algo que deve ser cada vez mais incentivado. O texto exige do aluno que ele mobilize faculdades mentais de atenção e abstração, e se existem resistências ao seu uso é mais por uma (ir)responsabilidade escolar, pensamos, que não tem feito esforços suficientes para que os alunos leiam cada vez mais, do que propriamente uma idiossincrasia desses alunos.

6.4 Algumas considerações: as partes e o todo

Ambas as turmas, de modo geral, apresentaram uma boa recepção em relação ao andamento das atividades com a unidade de ensino. Mas percebemos um maior envolvimento da turma A nesse sentido, e consideramos que as explicações para isso estão em um terreno complexo, entre a relação do professor e a turma, a idiossincrasia do professor ao longo dos trabalhos, o perfil da turma (por sua vez um resultado complexo da psicologia coletiva de seus membros constituintes), e, enfim, dos modos de proceder da instituição.

A turma B se demonstrou um pouco mais dispersa, mas esse comportamento foi descrito pelo professor como algo inerente ao perfil da turma, que costuma ter o mesmo tipo de comportamento nas outras aulas do professor. De todo modo, pensamos que, a partir do retorno obtido com o questionário individual, alguns tópicos que temos por centrais em nossa proposta, como nos deteremos mais pormenorizadamente na conclusão de nosso trabalho, foram suficientemente apreendidos pelos alunos. A visão do professor também nos deu bons indícios a esse respeito, conforme apresentamos na entrevista com o mesmo. Mas é inegável que a turma A apresentou um maior grau de envolvimento e interesse geral, como também pudemos constatar a partir do retorno com esses alunos. Ademais, a atividade em grupo com essa turma pôde ser integralmente realizada, com excelente participação em boa parte da atividade. Um aspecto que chama atenção nessas diferenças entre as turmas, é que a turma que constatamos ser mais dispersa, a turma B, estava com o professor, em princípio, com perfil profissional mais consoante com nossa proposta, enquanto a turma A estava com o professor com menos afinidade com história e filosofia da ciência.

Os planos de ensino foram contemplados em boa medida, havendo apenas modificações em relação aos tempos didáticos previstos, por vicissitudes de ajuste de horários e o próprio andamento das atividades junto a cada turma.

Ambos os professores, durante a implementação da unidade de ensino, mantiveram-se em constante contato com o pesquisador. Desde os contatos iniciais, passando pela leitura e discussão do texto sobre a Natureza da Ciência e a Gravitação, onde o professor teve um contato mais pormenorizado com os elementos da Natureza da Ciência a serem trabalhados na unidade de ensino, até as revisões dos textos para os alunos e de cada slide das apresentações eletrônicas. Contudo, pela idiossincrasia de cada professor, houve diferenças na implementação da unidade (excluindo aqui a natureza complexa dos perfis das turmas trabalhadas). O professor A, inicialmente mais inseguro por não ter um contato sistemático com a Natureza da Ciência, fez um trabalho mais consoante com o proposto nos planos e a função de cada slide. O professor B, mais acostumado com esse tipo de abordagem, demonstrou-se mais independente, não ficando tão próximo dos planos quanto o professor A.

Pensamos que planos de ensino devem ser facilitadores organizacionais, mas que de modo algum devem limitar o andamento das atividades, que podem sempre sofrer alterações em função das características das turmas e mesmo das alterações comportamentais que ocorrem em dias diferentes. Contudo, verificamos que os trabalhos desenvolvidos pelo professor A, que seguiu mais de perto os planos, foram mais desenvolvidos, mesmo com o perfil curioso e participativo da turma, que por diversas vezes conduzia a discussões mais afastadas dos elementos centrais da unidade de ensino. O professor B demonstrou estar mais à vontade com improvisações ao longo dos trabalhos, e, não sabemos dizer se devido a isso, o andamento das aulas foi menos fluido, lembrando que essa turma também tinha um perfil menos colaborativo. Acreditamos que se o professor B tivesse trabalhado com a turma A, provavelmente também teria propiciado uma boa desenvoltura às aulas.

Contrastando um pouco com o mencionado acima, o professor B esteve mais próximo dos textos trabalhados, chegando a ler com a turma algumas passagens. Já o professor A se concentrou mais nas apresentações eletrônicas, usando-as para promover as discussões pretendidas, apenas mencionando o que constava nos textos.

Mesmo com essas diferenças, percebemos um bom retorno geral por parte dos alunos, com boas respostas aos questionários. Vemos isso como um indicativo de que existem muitas e diferentes maneiras de se trabalhar um dado assunto com os alunos, sem que isso implique em resultados frontalmente diferentes em relação aos objetivos centrais da proposta didática. Sobre esses em específico, de modo geral ficamos satisfeitos com os resultados obtidos. Quando da devolução dos

questionários aos alunos, verificamos que boa parte daqueles que desconsideramos na discussão dos resultados obtidos, por conterem muitos problemas de coerência, eram de alunos que identificamos como sendo mais dispersos ao longo dos trabalhos e discussões. Talvez não sem surpresa, posteriormente constatamos que alguns desses, segundo os professores, demonstravam o mesmo perfil em outras aulas. Como vimos, o professor comentou em entrevista que, de todo modo, não podemos desistir desses alunos. Devemos insistir sempre.

Ficamos ainda satisfeitos em saber que alguns alunos, tidos como mais dispersos ao longo das aulas de física, demonstraram-se mais ativos e interessados ao longo da unidade de ensino proposta. Alguns desses chegaram a se destacar na aula da atividade em grupo.

Apesar de termos obtido uma boa visão geral do envolvimento dos alunos ao longo das atividades, e também de algumas dificuldades, ao término da unidade de ensino, e após o retorno do questionário aos alunos, fornecemos aos alunos um pequeno questionário (apêndice P) para averiguar sua visão a respeito da unidade de ensino trabalhada. Mais especificamente, perguntamos o que os alunos acharam das aulas e do material didático, se eles tiveram alguma dificuldade, e se gostariam que esse tipo de discussão estivesse presente também em outros momentos da disciplina de física.

Como mencionamos, a partir de nossas observações, e também das dos professores, obtivemos uma boa imagem do envolvimento dos alunos, mas com esse questionário pretendemos obter respostas mais pessoais e diretas do aluno. Para evitar que o aluno se sentisse impelido a dar respostas esperadas pelo professor, como se sabe ser algo comum em função do contrato didático estabelecido nas relações de ensino e aprendizagem, preferimos oferecer o questionário aos alunos sem que esses precisassem ser identificados (não colocamos campo para preenchimento do nome). Essa recomendação é sugerida por Gil, como procedimento de “prevenção de deformações” (2008, p. 128).

Com a turma A, obtivemos um retorno de todos os trinta e quatro alunos, uma vez que o questionário foi respondido em aula, no último dia de encontro. Já com a turma B, o questionário foi respondido por boa parte da turma, uma vez que o questionário foi implementado alguns dias após as atividades, e nem todos os alunos retornaram o documento. De todo modo, os quinze questionários recebidos nos deram um bom retorno da visão dos alunos da turma B.

Por se tratar de um questionário com respostas subjetivas, um retorno pessoal e qualitativo de toda a unidade trabalhada, não fizemos um juízo de valor sobre estarem ou não adequadas, naturalmente.

Contudo, para avaliarmos as respostas dos alunos de modo a tecermos um quadro geral de sua receptividade, após a leitura de todas as respostas usamos uma categorização como se segue: *baixa receptividade*, *receptividade positiva* e *receptividade bastante positiva*. Para distinguir essas duas últimas categorias, baseamo-nos na ênfase de cada resposta, conforme os exemplares apresentados a seguir. Na pergunta a respeito das dificuldades encontradas, usamos duas categorias: *sem dificuldades*, e *dificuldades pontuais*. Após a leitura de todas as respostas, não identificamos uma outra possível categoria, como “muita dificuldade”, por exemplo. Nos exemplares mostrados na tabela 29, não apresentamos os casos onde a resposta sugeria que não houve dificuldades, naturalmente. Mas consideramos interessante mencionar a seguinte resposta: “TA – Não encontrei nenhuma dificuldade, porque [...] como os materiais foram de qualidade, se surgisse alguma dúvida tinha onde pesquisar”.

Mostramos esses resultados, para cada turma, nos quadros 11 e 12. De todo modo, é claro que o que realmente nos interessou foi ter ciência de todas as respostas dos alunos, do que mostramos nas tabelas, de 27 a 30, alguns exemplares das categorias mencionadas acima.

Quadro 11 – Categorização das respostas dos alunos da turma A, ao questionário de receptividade.

Perguntas	Baixa receptividade (Sem dificuldades, pergunta 3)	Receptividade positiva (Dificuldade pontual, pergunta 3)	Receptividade bastante positiva
1. O que você achou das aulas sobre a Natureza da Ciência e a Gravitação? Comente.	0	7	27
2. O que você achou do material didático? (Textos e apresentações eletrônicas)	0	8	26
3. Que dificuldades você encontrou ao longo das aulas? (Teve algum ponto que você achou	10	24	-

mais difícil? Por quê?)			
4. Você gostaria que esse tipo de discussão que fizemos estivesse presente também em outros conteúdos de Física? Por quê?	2	2	30

Quadro 12 – Categorização das respostas dos alunos da turma B, ao questionário de receptividade.

Perguntas	Baixa receptividade (Sem dificuldades, pergunta 3)	Receptividade positiva (Dificuldade pontual, pergunta 3)	Receptividade bastante positiva
1. O que você achou das aulas sobre a Natureza da Ciência e a Gravitação? Comente.	0	0	15
2. O que você achou do material didático? (Textos e apresentações eletrônicas)	0	4	11
3. Que dificuldades você encontrou ao longo das aulas? (Teve algum ponto que você achou mais difícil? Por quê?)	3	12	-
4. Você gostaria que esse tipo de discussão que fizemos estivesse presente também em outros conteúdos de Física? Por quê?	2	2	11

Mostramos nas tabelas, de 27 a 30, a seguir, alguns exemplares das respostas dos alunos. De modo geral, as respostas que não foram citadas estão muito próximas das que foram. Como mencionamos anteriormente,

não fizemos nenhuma identificação dos alunos, do que então diferenciamos apenas entre as turmas, A e B (TA e TB).

Tabela 27 – Exemplos das respostas dos alunos à primeira questão do questionário de receptividade: “1. O que você achou das aulas sobre a Natureza da Ciência e a Gravitação? Comente”.

Baixa receptividade	Sem exemplares.
Receptividade positiva	<p>TA – Achei legal, pois são coisas que de alguma forma está presente em nossos dias, por mais que, sinceramente, física não me chame muito atenção.</p> <p>TA – Interessante, pois abordou um tema diferente comparado com o que geralmente estudamos.</p> <p>TA – Foi legal, porque foram apresentadas novas ideias e conhecimentos acerca da Natureza da Ciência.</p> <p>TA – Eu gostei por causa da didática, a maneira como o professor interage, mas prefiro contas.</p>
Receptividade bastante positiva	<p>TA - Muito boas, achei muito interessante mesmo não gostando de física.</p> <p>TA – Achei muito interessante, porque esse assunto é base para quase todos os assuntos de física, seria importante estudá-lo em todos os semestres.</p> <p>TA – Gostei bastante pois sempre tive interesse em aprender esse assunto, e aprender dessa forma (discussão) foi mais divertido.</p> <p>TA – As aulas foram extremamente didáticas, além de me estimular a sempre fazer comparações entre as teorias.</p> <p>TA – Eu achei bem esclarecedoras e muito mais interessantes do que as aulas sobre atrito ou cinemática.</p> <p>TA – Eu gostei muito das aulas porque foge um pouco da monotonia das aulas. Na minha opinião é muito melhor a assimilação do conteúdo da forma que foi feito.</p> <p>TA – Foram realmente muito construtivas, me auxiliaram a entender e buscar saber mais da Natureza da Ciência. Muitos pontos discutidos foram realmente relevantes e interessantes, mesmo que eu não tenha um bom conhecimento em física.</p>

	<p>TB – Eram aulas bastante estimulantes, pois nos faziam raciocinar bastante. Também nos incentivaram a argumentar mais e argumentar melhor, as atividades propuseram essas discussões e continham ótimos temas.</p> <p>TB – Acho que nos ajudaram a compreender melhor a forma como tudo aconteceu, como teorias foram e são criadas. Normalmente as escolas não passam esse conteúdo, mas acho que foi muito produtivo para nossa compreensão.</p> <p>TB – Gostei muito das aulas sobre a Natureza da Ciência e a gravitação, pois foi diferente de todas as aulas de física que tivemos durante o ano, e gostei muito do assunto, achei muito interessante.</p> <p>TB – Achei elas bem interessantes, os textos contaram a história da física de uma maneira legal, o que tornava a aula interessante e não monótona. Foi uma forma diferente de dar aula.</p>
--	--

Tabela 28 – Exemplos das respostas dos alunos à segunda questão do questionário de receptividade: “2. O que você achou do material didático?”.

Baixa receptividade	Sem exemplares.
Receptividade positiva	<p>TA – Simples e organizado, acredito que poderia ser menos extenso.</p> <p>TA – Em relação aos textos, foram de boa qualidade mas poderiam estar mais resumidos, [e as] apresentações eletrônicas foram muito boas.</p> <p>TA – Bom, facilitou o papel impresso e o portal online, para os desorganizados.</p> <p>TB – Achei os textos um pouco longos, [...] contudo as imagens presentes em meio aos textos eram bem elaboradas e auxiliavam bastante na compreensão do que era explicado, além de partes descontraídas, [...] que agradaram bastante. Quanto às apresentações eletrônicas, foram bem elaboradas, com bastante imagens, o que as tornaram menos cansativas. Algo que gostei também, foram os vídeos que auxiliaram também.</p> <p>TB – Bom, porém achei as leituras um pouco cansativas, as apresentações foram bem legais, gostei bastante dos modelos com animações.</p>
Receptividade bastante positiva	<p>TA – Gostei, os slides são bem sugestivos e interessantes. E sobre os textos, são de alguma forma curto e fazem com que você tenha uma relação com o texto, de querer saber cada vez mais.</p> <p>TA – Muito bom, através dos textos consegui entender muitas coisas.</p>

	<p>TA – Gostei dos textos e também dos materiais eletrônicos. Ambos são completos e de fácil entendimento, ajudaram na compreensão da aula, juntamente com as explicações do professor.</p> <p>TA – Os textos estavam muito bem elaborados e resumidos, além de bem fáceis de entender. As apresentações de slides estavam muito bem explicadas e com imagens, vídeos e animações que facilitavam a compreensão do assunto.</p> <p>TA – Achei muito bom, pois foi diferenciado das outras aulas e me fez prestar mais atenção, pois eu me senti interessada pelo assunto, pois foi dinâmico e captou minha atenção.</p> <p>TA – Muito bons, os textos eram muito explicativos e me chamaram muita atenção. Foram textos realmente muito bons de ler.</p> <p>TA – Achei que o material didático foi muito bom, e ao mesmo tempo que o professor explicava podíamos opinar e participar muito da aula, trazendo um ótimo relacionamento nas aulas, despertando o interesse cada vez mais.</p> <p>TB – Achei muito bem preparado e muito bem esclarecido.</p> <p>TB – Muito bons, eram bem explicativos, tanto os textos quanto os slides e vídeos.</p> <p>TB – O material didático possibilitou com que o conteúdo [...] fosse estudado de forma dinâmica e divertida. Os textos abriram espaço para discussão com a turma em geral, e para que também tivéssemos fonte de onde tirar informações [para] alimentar nossa posição crítica ou apenas justificando o porquê daquilo. Sobre as apresentações eletrônicas, foram bem desenvolvidas e montadas, não se tornando um material cansativo e dessa forma muito proveitoso para o estudo. Com imagens e vídeos [...] interessantes para uma representação do conteúdo que estava sendo estudado.</p> <p>TB – Bem feito e informativo. Estávamos estudando coisas que nunca [tínhamos estudado], tudo era novidade, os textos tinham uma boa linguagem técnica e as apresentações uma linguagem mais simples, assim, quando o professor explicava o conteúdo, algumas palavras diferentes apareciam e então ele as explicava e entendíamos os textos.</p> <p>TB – Os textos eram muito legais e dava vontade de continuar lendo. Os slides e vídeos também eram bons e deixavam as aulas legais.</p>
--	---

Tabela 29 – Exemplos das respostas dos alunos à terceira questão do questionário de receptividade: “3. Que dificuldades você encontrou ao longo das aulas?”.

Dificuldade pontual

- TA – Tive dificuldade de gravar os nomes e a ordem cronológica.
- TA – A única dificuldade que encontrei foi com a extensão dos conteúdos.
- TA – As palavras complicadas, tipo corroboração, acabavam nos complicando, mas talvez seja dificuldade do próprio aluno [aluno falando].
- TA – Algo relacionado a ler textos (odeio ler).
- TA – A grande quantidade de páginas dos textos.
- TA – Acho que por ser relativamente bastante coisa [tratada], no início eu fiquei confuso, mas depois tudo foi se esclarecendo.
- TA – Acho que pode ter ocorrido uma pequena dificuldade no entendimento [das palavras], muitas delas desconhecidas até então.
- TA – Tive algumas dificuldades para entender bem as teorias apresentadas, mas depois eu consegui.
- TA – Única coisa, foi alguns termos e assuntos mais específicos da área da física que foram um pouco mais difícil de entender.
- TB – Tive dificuldades com o vocabulário utilizado, mas, ao ler duas ou mais vezes, já entendia.
- TB – Encontrei algumas dificuldades em relação [às teorias] de Einstein.
- TB – [Tive dificuldade] de como saber me posicionar [...] nas discussões em sala, pois uma coisa é o aluno saber o porquê e outra totalmente diferente é justificar esse porquê, sendo que para resolver essa dificuldade procurei me informar lendo bastante os textos e minhas anotações.
- TB – As aulas foram muito boas e bem explicativas, só tinha uma pequena dificuldade em defender minhas teses.
- TB – A matéria em si é complicada, porém com a ajuda do professor consegui entender.
- TB – Senti só um pouco no questionário, em defender minha opinião, mas achei as aulas bem claras.
- TB – O último assunto foi o mais difícil por ser o mais extenso, mas ainda assim foi fácil de compreender. A maior dificuldade foi fazer uma boa leitura em sala de aula.
-

Tabela 30 – Exemplos das respostas dos alunos à quarta questão do questionário de receptividade: “4. Você gostaria que esse tipo de discussão que fizemos estivesse presente também em outros conteúdos de Física?”.

<p>Baixa receptividade</p>	<p>TA – Não, pois existe uma grande facilidade em fugir do tema proposto.</p> <p>TA – Não, pois gosto mais de contas, não sou muito de teorias.</p> <p>TB – Não. Porque em outros conteúdos são mais cálculos e fórmulas, assim não tendo muita teoria nem assunto para discutir.</p> <p>TB – Não. (?)</p>
<p>Receptividade positiva</p>	<p>TA – Talvez, pois na maioria das vezes já percebemos automaticamente algumas características e ficar repetindo isso pode acabar deixando a aula tediosa.</p> <p>TA – Sim, pois varia as aulas.</p> <p>TB – Depende do conteúdo, mas é bastante interessante.</p> <p>TB – Depende do conteúdo que essa discussão for encaixada, ou seja, em conteúdos teóricos acho que seria legal essa forma de trabalhar, mas em conteúdos que envolvem cálculos acho que não há tanta necessidade de trabalhar dessa forma, mas sim praticando.</p>
<p>Receptividade bastante positiva</p>	<p>TA – Sim, pois demonstrou dinâmica ótima, despertando um grande interesse.</p> <p>TA – Sim, a aula foi bem mais interessante, porque a aula geralmente é uma montanha de fórmulas sem contexto.</p> <p>TA – Sim, pois me fez olhar para a física de outra forma, mostrando que não é só conta.</p> <p>TA – Sim, porque ajudou de forma mais compreensiva a entender as leis e como elas funcionam, o que acaba propiciando um maior aprendizado.</p> <p>TA – Sim, gostaria. É muito melhor quando sabemos de onde os conteúdos que estão sendo estudados surgiram.</p> <p>TA – Sim, pois a turma tem a oportunidade de interagir mais, sem contar que os materiais foram bem dinâmicos, com vídeos, slides, textos para entendermos a prática e a teoria.</p> <p>TA – Sim, mas não só em outros conteúdos [como também em] outras unidades curriculares, pois dinamiza as aulas e cria o interesse dos alunos pela aula e pela busca pelo conhecimento.</p>

	<p>TA – Sim!!! Não apenas em física mas em todas as unidades curriculares, pois isso foi ótimo para compreendermos a Natureza da Ciência. Isso seria muito bom se ocorresse em todas as áreas do nosso curso.</p> <p>TB – Sim, pois ela foge um pouco do tradicional da física e faz suas opiniões ficarem mais críticas.</p> <p>TB – Com certeza! Adorei o modo como nos foi explicada a matéria.</p> <p>TB – Sim, às vezes despertar nosso senso crítico é ótimo e sai um pouco daquela imagem de física resumida a cálculos.</p>
--	---

Ficamos satisfeitos com os resultados mostrados acima, onde os alunos sugeriram uma receptividade bastante positiva em relação à proposta como um todo. A ampla maioria de alunos também sugeriu que gostaria que esse tipo de discussão estivesse presente em outros conteúdos da física, e mesmo em outras unidades curriculares, conforme algumas respostas.

Sobre as dificuldades, achamos interessante que da turma B, onde constatamos um pouco mais de dificuldade no andamento das atividades, obtivemos o maior número de respostas que apontam ausência de dificuldades. Apesar das respostas sucintas, obtivemos com essas alguns reforços de nossas constatações com nossas observações e a entrevista com os professores. Percebemos que alguns alunos possuem uma certa resistência ao texto, como já mencionamos. Um aluno chega a mencionar que “odeia ler”. Outros alunos disseram que tiveram dificuldade em argumentar, o que pode ser um indicativo da falta de estratégias, na escola, para promover a discussão e o pensamento crítico. Alguns alunos indicaram, na última questão, que as atividades foram positivas nesse sentido.

Chamou nossa atenção que alguns alunos, cujas respostas indicam uma baixa receptividade, sugeriram que esse tipo de discussão não poderia ser feito em conteúdos com cálculos, “*não tendo muita teoria nem assunto para discutir*”. Ainda, outro aluno sugeriu que prefere os cálculos. Pensamos que isso indica uma concepção inadequada da própria unidade curricular de física, concepção essa causada pelo ensino, naturalmente. Uma parcela considerável dos alunos que demonstraram ser bastante favoráveis às discussões feitas, como indicam as respostas à quarta questão, apontaram como essas discussões alteram a imagem que tinham da física. Percebemos como muitos alunos tem uma visão empedernida da física, onde “*a aula geralmente é uma montanha de*

fórmulas sem contexto”, citando uma frase que consideramos bastante sugestiva.

Ao se propor uma sequência didática, deve-se sempre, pensamos, avaliar não apenas os resultados em relação ao conteúdo trabalhado, mas também avaliar o processo: o modo pelo qual o professor conduz as atividades e, fundamentalmente, o modo pelo qual os alunos se envolveram com a proposta e apreenderam os conhecimentos pretendidos. Acreditamos que isso seja de inestimável importância para se calibrar um instrumento – a unidade de ensino – conforme as funções do material educativo, segundo Gowin. Ao nosso ver, essa preocupação, e as otimizações a partir da receptividade dos alunos, torna possível a constituição de um material facilitador da aprendizagem, além de um veículo do critério de excelência – os conhecimentos calibrados, segundo Gowin. Da mesma forma que conhecer o conteúdo é condição necessária mas não suficiente ao professor desejoso em ensinar, ter um material com conteúdo, apenas, não basta a um processo de ensino mais próximo ao aluno.

Como nossa proposta passa necessariamente por sua adoção por um professor, que, em outras oportunidades trabalhará com o material desenvolvido em implementações por conta (e continuaremos trabalhando para que isso ocorra), sua receptividade em relação à proposta como um todo também é de suma importância.

Podemos fazer algumas primeiras inferências a partir de nossa observação, onde ambos os professores demonstraram, desde o primeiro momento, um bom interesse em participar da pesquisa. O professor B, já com algumas leituras anteriores a respeito dos assuntos trabalhados, teceu alguns importantes elogios, mas vimos no professor A, provavelmente por seu pouco contato anterior com os assuntos trabalhados, uma grande receptividade e entusiasmo ao longo dos trabalhos. Vimos, nas entrevistas, como ambos os professores foram bastante positivos em relação aos materiais. Ficamos bastante satisfeitos com o comentário do professor A, por exemplo: *“Os textos eu achei que ficaram excelentes, a linguagem do texto ela é clara e acessível, principalmente pro aluno, né, e junto com as figuras e com a própria apresentação dos slides, eu acho que ficou muito fácil a compreensão, né, de assuntos que às vezes é difícil de compreender até pra quem já é formado, e tudo”*. O professor B comenta sobre a estrutura do material produzido: *“No geral ela tá muito bem estruturada. Ela tem textos bem construídos, que não são cansativos pro aluno, que trazem coisas que eles nunca viram no livro didático e*

nem em outras fontes. Então... as apresentações estão bem conectadas com o texto, elas complementam bem o texto [...]”.

Naturalmente isso é resultado de inúmeras alterações ao longo de pelo menos dois anos, com sucessivas avaliações de professores e mesmo colegas com interesses correlatos. As transposições realizadas são fruto de muitos ajustes que, quase de modo evolutivo, vão se estabelecendo como a “última versão”, subtítulo provisório que se repete incontáveis vezes ao longo do processo de otimização dos textos. E não temos dúvidas de que isso se repetirá quantas vezes quanto for o interesse de se manter a proposta em efetivo uso nas escolas. Como os colegas acadêmicos costumam mencionar, um trabalho de autoria só termina quando é abandonado.

Pensando na influência de nossa proposta na construção, pelo aluno, de uma imagem mais adequada da atividade científica, podemos nos referir simplesmente à sua *eficácia*, que podemos aqui definir como a capacidade de mobilizar o interesse do aluno e capacidade de propiciar ao aluno os elementos básicos da Natureza da Ciência propostos. Sobre essa questão, obtemos dados valiosos com as manifestações dos alunos. Pensamos que são muitos os exemplos que indicam uma boa apreensão de aspectos que julgamos essenciais em nossa proposta, como apresentamos no item sobre o retorno dos alunos.

Não nos sentimos confortáveis em fazer um gráfico, por exemplo, apresentando porcentagens das categorizações realizadas para as respostas dos alunos. Deixamos para o leitor o julgamento dos números, se assim o desejar. Nossos julgamentos são deslocados mais para o teor de alguns comentários dos alunos, apesar de ficarmos satisfeitos com a frequência de “inícios moderados” de aprendizagem. Não pensamos que seja conveniente repetir aqui todo um apanhado de boas respostas. Contudo, não podemos deixar de enfatizar que passagens como a seguinte, vinda de um dos grupos, trazem uma boa dose de confiança na potencialidade de nossa proposta: “[...] *O saber científico deve-se aprofundar em uma teoria ou lei já existente, para verificar se a mesma é capaz de responder [determinados problemas], ou caso contrário reformulá-la para responder a pergunta e caso isso não venha acontecer novamente uma nova lei ou teoria deve ser criada para responder o porquê que determinada coisa ocorre na natureza. [...] Mesmo que exista uma teoria capaz de explicar grande parte dos fenômenos naturais, ainda restarão [questões a serem respondidas]. [Essas questões] só serão respondidas com o aprimoramento da teoria já existente ou com a criação de uma nova capaz de responder as mesmas questões da anterior, contudo essa por sua vez será responsável por responder aquelas que*

estavam sem explicação até o momento. [...] Concordamos com as ideias propostas [pelo autor], em especial com a que diz que a ciência não possui verdades definitivas ou dogmas”.

Consideramos verdadeiramente regozijante identificar, mesmo entre redações frágeis, muitas vezes com muitos problemas gramaticais e de ortoépia, elementos que sugerem uma compreensão adequada dos elementos trabalhados na unidade de ensino. Enfatizamos que não é de nosso interesse fazer uma distribuição matemática de nossos resultados, mas um passar de olhos nas respostas dos alunos, como apresentamos em boa medida, sugere uma gaussiana bastante satisfatória. E, para isso, não consideramos fundamental que o aluno mobilize termos técnicos para construir suas considerações, conforme o exemplo citado acima. É assim que, no geral, o aluno pode não ter adquirido a competência de identificar o cinturão protetor, mas identificou o processo básico de proteção à teoria. É assim que o aluno pode não ter se apropriado do conceito de heurística, mas aparentemente se apropriou de um juízo crítico a favor da teoria que explica e prevê. É assim que o aluno pode não ter mobilizado a noção de observações neutras, mas demonstrou que os experimentos respondem a uma teoria. E é assim que o aluno pode não advogar a favor da inexistência de um método científico, mas percebeu, pensamos, que uma receita de instruções parece não representar adequadamente a atividade científica.

Apesar dos resultados, é claro que o processo apresentou suas falhas, e dificuldades por parte dos professores e alunos. Essas falhas, talvez, sejam até mais importantes de serem enfatizadas. São com as limitações que podemos vislumbrar melhorias, são as dificuldades que apontam fatores frágeis a serem mais bem trabalhados. Como já discutimos anteriormente, os professores apresentaram perfis diferentes, que, de um modo ou de outro, estiveram presentes ao longo dos trabalhos. As dificuldades encontradas pelo professor A, segundo nossas observações e acompanhamento, foram mais de ordem profissional, relacionadas aos seus conhecimentos a respeito. O professor B, por sua vez, também segundo nossas observações, apresentou mais dificuldades na implementação junto aos alunos. Curiosamente, percebemos que o professor A, que mencionou na entrevista ter tido alguns problemas com a relação professor-aluno, foi melhor nesse aspecto, do que o professor B, que não enfatizou essa relação. Esse professor chamou a atenção para os aspectos relacionados à transposição didática e ao contrato didático, não centrando seus comentários nas limitações da unidade de ensino propriamente dita. Ou seja, as dificuldades comentadas por ele são mais

de ordem geral da educação, do que relacionadas diretamente à nossa proposta.

O texto sobre a epistemologia de Lakatos (A Natureza da Ciência e a Gravitação) parece ter sido mais valioso ao professor A, provavelmente pelos motivos já descritos. O professor B, talvez por já ter estudado esse autor, esteve menos preocupado nesse sentido. Mas ambos parecem ter atingido um grau de suficiência em relação aos assuntos específicos a serem trabalhados com os alunos, e ambos elogiaram o didatismo do texto em relação aos elementos da epistemologia de Lakatos.

O professor A foi um pouco mais atencioso com as preparações, mostrando-se, ainda, mais preocupado ao final de cada aula, onde sempre pudemos conversar a respeito da aula recém conduzida e sobre a próxima. Isso também aconteceu com o professor B, mas de forma um pouco menos sistematizada. Mas consideramos ser importante mencionar que ambos os professores fizeram um trabalho (infelizmente?) bem acima do que se costuma fazer em aulas de física, a julgar pelos mais de 15 anos de experiência do pesquisador na docência. Ao passar pelas etapas de preparação para a implementação de nossa proposta, o professor estará, pensamos, adquirindo ainda importantes subsídios à sua prática profissional, ou seja, um conjunto de conhecimentos desejáveis ao professor, particularmente embasados em Shulman, como discutimos na seção 3.2.

Sobre a dificuldade dos alunos, certamente existe uma parcela associada à cognição, e aos aspectos sociais de seus conhecimentos prévios. De que modo e em que medida esses conhecimentos foram realmente superados ou enriquecidos, é uma questão profunda que atacamos apenas em parte nesse trabalho. O que fizemos, foi ter clareza dessas visões prévias, para, juntamente com o professor, estabelecermos os tópicos mais caros às discussões com os alunos, como o conceito de força heurística e a diminuição da importância normalmente dada ao suposto método científico. Para que, mesmo com essa concepção de receita infalível enfraquecida (ou mesmo devido a esse enfraquecimento), o aluno possa se colocar criticamente a respeito de teorias científicas, ou mesmo avaliar objetivamente a preferência de uma teoria em detrimento de outra.

Mas certamente observamos alguns alunos que aparentemente não se apropriaram dos conceitos pretendidos. E apesar de julgarmos que esses alunos se tratam de um grupo minoritário, isso não diminui nossa atenção no sentido de querer abrandar esses problemas no futuro. Além de uma maior atenção por parte do professor, algo sempre complicado de

conseguir com grandes turmas, pensamos que esses alunos com maior dificuldade seriam mais atendidos com atividades onde um determinado grupo se visse na responsabilidade de contemplar a visão de todos os seus integrantes, com discussões e colaborações mútuas, para posterior interação com o grande grupo. A sugestão do professor B, sobre um júri simulado, talvez pudesse, com o gerenciamento adequado, contemplar esse aspecto. Pretendemos fazer uma reestruturação nesse sentido, para em uma futura implementação, avaliar em que medida isso pode melhorar o retorno dos alunos.

Em síntese, podemos dar as seguintes respostas às nossas questões de pesquisa:

1. Qual a recepção geral, por parte dos professores e alunos, de um material didático que trata da Natureza da Ciência baseado na visão de Lakatos, mediante uma abordagem da Gravitação, em conformidade com resultados de pesquisas em Educação em Ciências?

Os alunos foram bastante receptivos em relação à proposta como um todo, ficando na maior parte do tempo curiosos e participativos. Constatamos alguns momentos onde isso é potencializado, particularmente ao longo das exposições dos vídeos, durante as apresentações eletrônicas, na atividade de ilustração de hipóteses formulada pelos alunos, e na atividade sobre os trechos dos livros didáticos. Quanto aos professores, houve igualmente um interesse claro com os assuntos presentes na proposta didática. Tanto em relação ao tema quanto em relação à sua abordagem histórica e epistemológica. Ambos os professores avaliaram de forma bastante positiva toda a proposta, particularmente em relação aos textos e apresentações.

2. Qual a influência da utilização desse material na compreensão dos alunos sobre a Natureza da Ciência na visão de Lakatos?

Podemos associar a influência de nosso material com sua eficácia em mobilizar, junto ao aluno, os elementos abordados sobre a Natureza da Ciência. Conforme suas falas (exaustivamente apresentadas nas seções anteriores), vemos

uma clara eficácia da proposta, com a grande maioria dos alunos apresentando uma desenvoltura notável em suas respostas. Percebemos um bom nível de sofisticação nas visões apresentadas, e particularmente uma boa reprodução (crítica) dos assuntos comentados do ponto de vista da epistemologia de Lakatos. Entendemos que houve uma boa mobilização, por parte do aluno, da noção de que a ciência se apoia primordialmente em estruturas teóricas em relação aos seus aspectos empíricos, diminuindo significativamente uma imagem empírico-indutivista da atividade científica.

3. Que dificuldades foram apresentadas pelo professor ao implementar a unidade de ensino proposta?

Os dois professores participantes da pesquisa se mostraram, em maior ou menor grau, à vontade com o andamento das atividades, de modo geral. Especificamente em relação à unidade de ensino, as dificuldades mais presentes estiveram em torno do andamento previsto pelos planos de aula, o que de modo algum vemos como algo essencialmente problemático (nossa visão subjetiva a esse respeito implica em que uma boa aula, aquela que centraliza o aluno em seus processos, fugirá quase necessariamente dos planos de ensino). Em menor grau esteve a dificuldade com o assunto específico de epistemologia, mais por parte de um dos professores, o que, como comentamos, não afetou de modo substancial sua exposição em sala. Do que resta as dificuldades inerentes às vicissitudes da sala de aula como um todo, que não associamos à nossa proposta.

4. Que dificuldades foram apresentadas pelos alunos ao longo da implementação da unidade de ensino proposta?

A partir das respostas apresentadas pelos alunos, juntamente com a observação de suas falas ao longo das aulas, percebemos algumas dificuldades mais voltadas à compreensão inicial dos conceitos da gravitação einsteiniana e dos elementos apresentados sobre a Natureza da Ciência. O que, mais uma vez, associamos à apreensão de conceitos novos, não necessariamente em relação à nossa proposta. Por isso a importância das revisitações, por meio

de atividades realizadas pelos alunos, além da exposição do professor. Contudo, podemos citar aqui algumas dificuldades mais pontuais com o conceito do *princípio da equivalência*, no contexto einsteiniano da gravitação, e no conceito de *núcleo firme*, no contexto da epistemologia tratada. Isso sugere, naturalmente, uma maior atenção a esses termos, por parte do professor, ao longo de toda a implementação da unidade de ensino.

CONCLUSÃO

A ciência procura entender o mundo, o universo, por meio de metodologias que foram suposta e repetidamente sistematizadas por diferentes pensadores. Alguns podem ser vistos como mais racionalistas, no sentido de procurarem uma base lógica e objetiva para a atividade científica, enquanto outros procuram relativizar essa racionalidade, no sentido de negarem uma base objetiva à ciência. Mas, após a crítica da ciência, conduzida por autores com posições distintas, por vezes antagônicas, como Bachelard, Kuhn, Popper, Lakatos e Feyerabend, ficou bastante difícil a um racionalista ingênuo, que advoga a favor de um suposto método científico bem delimitado, que vai da observação às teorias, fazer valer seu ponto de vista.

Apesar das várias formas de ver e analisar a atividade científica, alguns poucos consensos parecem ter se estabelecido, conforme discutimos no capítulo 1. Entre esses, a recusa de uma metodologia empedernida de procedimentos enumerados e a recusa de observações neutras. Sugerimos que também há, hoje, um consenso a respeito da complexidade da atividade científica enquanto atividade humana, uma relação entre sujeito e objeto que circunda diferentes âmbitos, sociológicos e mesmo biológicos (Maturana e Varela, 1995).

Quando trasladamos nossa atenção, da ciência para o ensino de ciência, pensamos que essa complexidade se mantém. E, como em toda atividade complexa, é necessário que se escolha algarismos a se desprezar e elementos a se concentrar, para que a complexidade não oculte os elementos passíveis de serem trabalhados com os alunos. Claramente sempre há que se começar por algum lugar, do que fizemos nossas escolhas. Avaliar essas escolhas, avaliar nossas intenções, enfim, tecer respostas para nossas questões de pesquisa, também não se afasta das dificuldades, embora naturalmente nossos propósitos nos conduzam a respostas, acreditamos, suficientemente embasadas para tecermos um panorama à guisa de solução para nosso problema de pesquisa, como discutimos a seguir.

Cada um dos parâmetros considerados a seguir, relacionados à implementação de nossa proposta, é resultado de uma triangulação entre nossas observações, o retorno dos alunos nas aulas e atividades, e as considerações dos professores. Para nos referirmos a esses parâmetros, seguiremos uma estrutura de itens, apenas com a intenção de demarcá-los para sua referência.

1. Os alunos utilizam os materiais como consulta confiável para a realização de atividades e consultas várias. Assim, apesar das possíveis resistências à leitura (ou devido a essas), por parte do aluno, o professor deve incentivar esses momentos, contornando em parte possíveis deficiências de uma leitura inicial. Apesar de a turma A ter se mostrado mais receptiva à leitura dos textos, em ambas as turmas percebemos que existe uma heterogeneidade em relação ao envolvimento com a leitura. Alguns alunos ficaram bastante interessados na leitura, e explicitando isso em algumas respostas sobre a receptividade do material. Entrementes, ficou clara a resistência por parte de outros alunos. De modo geral, percebemos que os alunos não gostam de ler em sala de aula. Na turma A, onde os alunos, em geral, começavam a leitura em sala, muitos falaram que preferiam ler em casa. E, na turma B, onde o professor concedeu uma aula inteira para a leitura do primeiro texto (mudando essa estratégia na sequência), os alunos se dispersavam facilmente. Mas ficamos satisfeitos com algumas respostas dos alunos que mencionaram o quanto se sentiram estimulados com a leitura, uma vez iniciada. O que sugere que, além de se preocupar com estratégias de leitura, deve-se, como já discutimos, investir em cuidados com a elaboração do material.

2. Não percebemos um obstáculo significativo relativo à introdução de termos específicos da filosofia da ciência, como os apresentados em relação à epistemologia de Lakatos, a não ser o de *núcleo firme*, que acabou não sendo tão revisitado quanto os demais. Contudo, pensamos que o uso reduzido desses, e apenas os essenciais ao que se propõe, seja um critério de parcimônia desejável, em função de o aluno já estar sujeito a conteúdos e abordagens pouco usuais para ele. De todo modo, isso sugere que os mesmos devam ser suficientemente abordados pelo professor, uma vez que essa constatação está, naturalmente, associada à boa abordagem por parte dos professores implementadores. O mesmo ocorre com termos relativos à ciência tratada, naturalmente. Principalmente os elementos da gravitação einsteiniana precisam ser cuidadosamente apresentados pelo professor, por conterem conceitos praticamente inexistentes da noosfera escolar, como o conceito de *princípio da equivalência*. Enfatizamos que a memorização precisa dos termos específicos que aparecem em nossas narrativas sobre a Natureza da Ciência são menos importantes, pensamos, que os processos a que eles se referem. Muitos alunos mobilizaram adequadamente esses termos, como *hipóteses ad hoc* e *força heurística*, mas percebemos que mesmo os alunos que não utilizaram esses termos demonstraram perceber os significados básicos correlatos a eles. Contudo, ao nosso ver é importante codificar esses significados com os termos técnicos a que se referem, para

reforçar a característica de organizador conceitual para o material, conforme Gowin, e convencionar uma comunicação adequada a respeito desses significados. Não pensamos que trazer ao aluno toda uma gama de elementos da teoria do conhecimento fosse desejável, ao menos no caso específico de nossa proposta. Nossa escolha, nesse sentido, foi trazer alguns aspectos mais centrais aos nossos objetivos, resumidos nos pontos consensuais apresentados a respeito da Natureza da Ciência. Detemo-nos mais em alguns termos, como os referidos mais acima, e esses foram naturalmente abordados ao longo de nossas discussões sobre a progressão de teorias. Pensamos que, como em qualquer atividade de ensino, o aluno vai lenta e progressivamente adquirindo sentidos para esses termos, de um modo dinâmico e mais significativo do que simplesmente apresentá-los como sucessivos verbetes. Quanto a contemplar todos os aspectos tidos por consensuais para a Natureza da Ciência, com a mesma profundidade de tratamento, pensamos não ser algo factível em um único trabalho. Contudo, com outros estudos correlatos, seguindo as mesmas preocupações, acreditamos que seja possível progressivamente conduzir o aluno a um estado mais crítico e consciente dos alcances e limites da ciência, formando uma visão mais abrangente e mais adequada da atividade científica. Em suma, nossa proposta se configura como um início adequado para um processo contínuo ao longo de toda a formação escolar do aluno. Nesse sentido, poderíamos concordar com a colocação do professor B, que comentou em entrevista trabalhar com aspectos sobre história e filosofia da ciência ao menos uma vez por semestre. Uma unidade de ensino como a que propomos, a cada semestre, certamente possibilitaria, ao final do Ensino Médio, uma formação bem mais sólida ao aluno em relação a um entendimento esclarecido sobre os modos de proceder da ciência.

3. O professor implementador da proposta não deve se eximir de uma leitura atenta e compromissada do texto de apoio. Devido às especificidades de nossa abordagem, pouco presente nas aulas de física, vemos como imprescindível essa etapa, não apenas para dirimir possíveis dúvidas iniciais em relação aos assuntos a serem trabalhados com os alunos, mas também para adquirir uma desenvoltura necessária ao bom andamento das atividades. O mesmo vale para o acompanhamento atento dos planos de ensino, uma vez que o conjunto de preparações realizadas pelo professor são parte direta de nossa proposta. Os planos de ensino produzidos não devem ser vistos como roteiros engessados, mas facilitadores das atividades em sala. Na situação (esperada) de implementação da unidade de ensino em casos onde não se está

participando de uma pesquisa, o professor precisa revisitar frequentemente esses planos, até mesmo para permitir que as improvisações, que naturalmente surgem em função do acompanhamento dos alunos, sejam bem conduzidas. Estar ciente dos planos de ensino permite a melhor gerência possível das aulas. É o que difere improvisação de desorganização. O professor A esteve mais preocupado com esses planejamentos, mantendo conversas constantes com o pesquisador ao afinal de cada aula, para falar sobre a aula recém conduzida e a próxima. O professor B também participou dessas situações, mas de modo menos sistematizado. Novamente, isso coincide com o tipo de andamento das atividades nessas turmas. Constatamos que o aluno frequentemente conduz as discussões para aspectos não contemplados pelos materiais: *“Por que o Sol está nessa posição no sistema geocêntrico?”*, *“No vídeo com o Sol desaparecendo, o que aconteceria com nós quando [a Terra] saísse pela tangente? O que aconteceria com a vida na Terra?”*, *“Como sabemos que é o espaço que é curvo e não apenas a luz?”*. Esse tipo de curiosidade bastante positiva causará alterações (inevitáveis e mesmo desejáveis) na programação pensada. Pensamos que isso passa por um equilíbrio entre resolver a curiosidade do aluno da melhor forma pelo professor, e retomar o planejado para a referida aula. Mais uma vez, ter ciência dos planos facilitará essa dinâmica.

4. A atividade de discussão sobre os trechos de livros didáticos produziu um excelente envolvimento dos alunos. Esse envolvimento sugere que nessa atividade muitos elementos ainda não suficientemente compreendidos pelos alunos podem ser elucidados, pelo professor e pelos próprios alunos. Assim, sugerimos atenção especial a essa atividade, por parte do professor. As discussões entre os alunos se demonstrou muito produtiva em boa parte do tempo destinado para tal, mas pudemos perceber que o empenho dos alunos diminuiu com o alongamento da atividade. Na aula do debate sobre os trechos dos livros, os alunos discutiram efusivamente na primeira metade, diminuindo sensivelmente na segunda. E o mesmo ocorreu com a apresentação dos pareceres, onde o primeiro parecer de cada grupo foi recebido com bastante atenção e discussão pela maioria dos alunos, e o segundo parecer já ocasionou uma receptividade mais branda. Por isso, pensamos que outras implementações correlatas devem conceder menos tempo para essas atividades, mas, claro, manter ou mesmo ampliar o alcance das mesmas. Isso pode ser conseguido com uma maior flexibilidade na programação do número de aulas disponíveis, onde essa atividade de discussão e pareceres dos grupos esteja fracionada. Por exemplo, uma aula para a discussão e apresentação de um parecer, e outra aula para o restante.

5. Os alunos ficam bastante atraídos com os vídeos exibidos nas apresentações eletrônicas e em boa parte dessas. Mais uma vez, o professor deve atentar e aproveitar esses momentos para retomar os elementos mais centrais das discussões, sempre mantendo o aluno no centro das conversas. No contexto do teste da gravitação de Einstein, os alunos ficaram bastante atentos, o que se mostrou ainda como um grande facilitador para as discussões sobre os elementos da Natureza da Ciência discutidos. O que nos mostra que, mesmo nosso objetivo precípua sendo o ensino desses elementos, os exemplares escolhidos para tal (em nosso caso, a Gravitação) devem ser cuidadosamente trabalhados, uma vez que desses exemplares surgirá a necessidade do aluno querer pensar a respeito dos temas pretendidos. As apresentações eletrônicas, apesar de enriquecerem sobremaneira a apresentação e discussão dos assuntos, também precisam relevar o tempo de acomodação, à semelhança da aula de discussão dos grupos. O professor A, por exemplo, por conceder bastante tempo para as considerações dos alunos, inquirindo-os frequentemente em relação às suas dúvidas, provavelmente sem perceber (uma vez que ele chegou a considerar isso um problema para o andamento da aula, conforme apresentamos anteriormente), acabou propiciando com que essas aulas fossem mais dialógicas e dinâmicas, nesses momentos. Já em outros, quando o mesmo professor se manteve por mais tempo na apresentação, ficou evidente que esse dinamismo diminuía. Observamos que manter um único sentido de informação, do professor para o aluno, além dos problemas didáticos clássicos, gera um cansaço para ele, enquanto escuta passivamente o professor. Então pensamos que isso deva ser a todo instante relevado pelo professor, ou seja, não permitir que uma apresentação se delongue sem as devidas trocas com os alunos. Testemunhamos, ao longo de nossa carreira, muitos momentos onde uma apresentação eletrônica se mostrou mais enfadonha do que apenas o quadro e giz. O que sugere que não é o recurso em si que determina uma aula interessante ao aluno, é claro, e sim o uso que se faz dele, e pensamos que um professor preparado possa fazer o quadro e giz ficar interessante, enquanto um professor despreparado pode arruinar uma excelente apresentação. Em nosso caso, preocupamo-nos inclusive com as cores usadas nos slides, na disposição de imagens e vídeos devidamente incorporados ao arquivo e mesmo nas animações criadas para subsidiar uma boa narrativa pelo professor. Não nos sentimos à vontade em correlacionar inequivocamente o bom uso dessas apresentações com as recepções apresentadas pelas turmas, mas foi evidente que a turma A, onde toda a apresentações esteve dentro do planejado, demonstrou uma

maior proximidade com a exposição do professor. Seu interesse ficou bastante evidente, enquanto na turma B, onde tivemos o contratempo comentado sobre as apresentações convertidas em PDF, os alunos se demonstraram menos próximos à exposição (mas que ainda julgamos muito boa).

6. Muitos alunos se mostraram desejosos em participar quando questionados, e pensamos que isso pode ser uma estratégia a ser mais bem trabalhada. Quando os professores discutiram a noção de hipótese ad hoc, muitos alunos desejaram dar sua contribuição, e, portanto, pensamos que essa atividade possa ser ampliada, envolvendo inclusive uma sistematização nesse sentido. Nesse momento, onde o aluno fica em contato direto com alguns modos de proceder da ciência, o professor pode aproveitar para enfatizar algumas características, como a imaginação do cientista. Sugerimos um acréscimo ao tempo didático destinado para essa atividade, a depender da percepção do professor quanto à relação entre produtividade e interesse por parte dos alunos. Como já sugerimos anteriormente, isso não pode limitar a amplitude dos assuntos tratados na unidade de ensino, enfatizando muito um aspecto desses assuntos em detrimento de outro.

Além desses itens, relacionados a uma implementação adequada de nossa proposta, gostaríamos de acrescentar os seguintes, que não decorrem diretamente de nossa pesquisa, mas formam, com aqueles, um conjunto de sugestões que podem auxiliar a produção e implementação de novas propostas didáticas visando o ensino da Natureza da Ciência.

i. Primeiramente, é natural que se busque fontes de referência na área que se deseja trabalhar. Os alunos usarão os textos, e outros materiais produzidos, como fonte de referência confiável em seus estudos, e para que o material sirva como critério de excelência, segundo discutimos na seção sobre Gowin, essa calibração deve ser garantida com trabalhos acadêmicos compromissados e devidamente avaliados pelos pares, como os que discutimos no capítulo 1. Os periódicos de referência da área pretendida formam um importante ponto de partida, que pode (ao nosso ver *deve*) ser estendido ao uso de livros e documentários. Muitas vezes esses últimos podem trazer concepções inadequadas sobre os elementos da Natureza da Ciência trabalhados, o que exige, claro, atenção por parte do professor, que deve utilizá-los no contexto apropriado, conforme ilustramos em nossa proposta. Mas seu uso não deve ser subestimado, em função de importantes contribuições visuais que esses documentários podem trazer para uma sequência didática. Como reiteramos diversas vezes em nosso trabalho, quanto mais atraído estiver o aluno para os temas científicos estudados, mais próximo ele estará, pensamos, de um

sentimento de significância também em relação às discussões sobre a Natureza da Ciência.

ii. Toda proposta didática é resultado de uma transposição de conteúdos com algumas consequências indesejáveis, mas totalmente inevitáveis. O autor de uma proposta didática deve estar ciente de que deverá omitir algumas informações, e enfatizar outras. E que mesmo as que serão enfatizadas implicarão em simplificações inevitáveis. A ciência dessas características propicia ao autor uma visão abrangente que o permite fazer as melhores escolhas em relação ao pretendido com o material. Em relação aos elementos da Natureza da Ciência escolhidos para se trabalhar com os alunos, preferimos fazer uma escolha, talvez arriscada, de trazer alguns termos técnicos da epistemologia de Lakatos. Julgamos, inicialmente, que levar aos alunos alguns poucos novos termos não seja algo prejudicial. Após avaliar o retorno desses alunos, verificamos que, de modo geral, esses termos foram bem compreendidos, mas consideramos que o mais relevante seja a apreensão, indicada pelas respostas dos alunos, dos processos básicos a que esses termos se referem, como discutimos anteriormente.

iii. Uma vez estabelecido um bom conjunto de fontes para os conteúdos a serem trabalhados, deve-se ficar claro que esses conteúdos são condição necessária e totalmente insuficiente para se produzir materiais educativos adequados ao ensino. Além do conhecimento do conteúdo a ser trabalhado, o professor precisa mobilizar seu conhecimento pedagógico desse conteúdo, conforme discutimos na seção sobre Shulman. O autor do material não pode perder de vista que o que ele produz, produz para o aluno. O texto que é redigido, tem o aluno como foco. É essa preocupação que possibilitará trazer ao aluno uma significância para o que se está lendo. Os aspectos relacionados ao entendimento da atividade científica, a história e filosofia da ciência, é um conhecimento que passa inevitavelmente pelo texto. Uma história, uma argumentação, um relato, uma apresentação de resultados de pesquisas, expõe e propala o conhecimento de forma predominantemente textual. Mas, conforme indicação do professor B em entrevista, os alunos não leem. E, juntamente com o professor, pensamos que os alunos precisam ler. E certamente isso será dificultado com textos unicamente centrados nos conteúdos. Pensamos que quando se trata de educação, a forma é tão importante quanto o conteúdo. As preocupações com o material precisam inclusive contemplar aspectos estéticos e de suporte, em relação às apresentações eletrônicas, conforme também discutimos anteriormente.

Por fim, enfatizamos que esses itens apresentados se apresentam como possíveis norteadores para se pensar atividades correlatas, mas que cada atividade, cada classe e cada professor, necessitarão de estratégias e andamentos que melhor se adaptem às características daqueles. Pensar em um conjunto de parâmetros fechados seria tão limitado quanto as tentativas de se enumerar os passos seguidos pelo cientista para se fazer ciência. Contudo, vemos que isso não exclui a possibilidade de vislumbrarmos caminhos mais adequados do que outros, como os discutidos para a atividade científica. E, da mesma forma que materiais educativos, segundo Gowin, servem como multiplicadores de significados, inteirar-se de caminhos já trilhados, como os pretendidos em nossa proposta didática, pode permitir que essa atividade comece de forma mais promissora. É nesse sentido que nossas considerações a respeito dos condicionantes para uma implementação adequada de nossa proposta podem servir como um ponto de partida fundamentado para outros caminhos, outras possibilidades.

Referências

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. **The Influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science**. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 37, n. 10, p. 1057-1095, 2000.

ACEVEDO, J. A.; VÁZQUEZ, A.; PAIXÃO, M.; ACEVEDO, P.; OLIVA, J. M.; MANASSERO, M. A. **Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino das ciências**. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2005.

ALLCHIN, D. **Pseudohistory and Pseudoscience**. *Science & Education*, V. 13: 179–195, 2004.

ALMEIDA, A. V., FARIAS, C. R. O. **A Natureza da Ciência na formação de professores: reflexões a partir de um curso de licenciatura em ciências biológicas**. *Investigações em Ensino de Ciências – V16(3)*, pp. 473-488, 2011.

ANTÓN BOIX, I. J. **Pluralismo epistemológico: Entre el sueño objetivista y la incommensurabilidad de paradigmas**. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, Año 9, no. 24, 51-65, 2004.

ARTHURY, Luiz H. M. **A Cosmologia Moderna à Luz dos Elementos da Epistemologia de Lakatos**. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ASIMOV, Isaac. **A Relatividade do Erro**. Lisboa: Edições 70, 1991.

AUSUBEL, David P. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1978.

BAGDONAS, Alexandre; ZANETIC, João; GURGEL, Ivã. **Controvérsias sobre a Natureza da Ciência como enfoque curricular para o ensino da física: o ensino de história da cosmologia por meio de um jogo didático**. *Revista Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, dez 2014.

BARCELLOS, Marcília E.; VALENTE, Ligia; ZANETIC, João. **Problematizando o ensino da física moderna, a partir das várias “teorias gravitacionais”**. Atas do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – V ENPEC Bauru, SP – 28 de novembro a 3 de dezembro de 2005. Disponível em: < <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/venpec/conteudo/artigos/3/doc/p680.doc>>. Acesso em: 5 julho de 2015.

BOGDAN, R. & BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**. Porto: Porto, 2003.

CACHAPUZ, A.; PAIXÃO, F.; LOPES, J. B.; GUERRA, C. **Do Estado da Arte da Pesquisa em Educação em Ciências: Linhas de Pesquisa e o Caso “Ciência-Tecnologia-Sociedade”**. Alexandria, v.1, n.1, p. 27-49, mar.2008.

CHALMERS, A. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHARMAZ, K. **A Construção da Teoria Fundamentada: guia prático para análise qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

CHEVALLARD, Yves. **La transposición didáctica**. Buenos Aires: Aique, 1997

CHINELLI, M. V.; FERREIRA, M. V. S.; AGUIAR, L. E. V. **Epistemologia em sala de aula: a Natureza da Ciência e da atividade científica na prática profissional de professores de ciências**. *Ciência & Educação*, v. 16, n. 1, p. 17-35, 2010.

COX, Brian. **The Big Bang Machine**. [Filme-vídeo]. BBC, British Broadcasting Corporation, 2008.

DANIEL, Gilmar Praxedes. **História da ciência em um curso de licenciatura em física: a Gravitação newtoniana e a Gravitação einsteiniana como exemplares** [tese] / Gilmar Praxedes Daniel; orientador, Luiz Orlando de Quadro Peduzzi. Florianópolis, SC, 2011. 404p.

DELIZOICOV, D. **Pesquisa em ensino de ciências como ciências humanas aplicadas**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 21: p. 145-175, ago. 2004.

DELIZOICOV, D. **Resultados da pesquisa em ensino de ciências: comunicação ou extensão?** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 22, n. 3: p. 364-378, dez. 2005.

FARIAS, Isabel M. S. **Inovação, mudança e cultura docente.** Brasília: Líber Livro, 2006.

FERNÁNDEZ, I.; GIL-PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. **Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza.** Enseñanza de las Ciencias, 2002, 20 (3), 477-488.

FEYERABEND, Paul K. **Contra o método.** Rio de Janeiro: F. Alves, 1977.

FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa.** Porto Alegre: Artmed, 2009.

FLICK, Uwe. **Qualidade na pesquisa qualitativa.** Porto Alegre: Artmed, 2009.

FORATO, Thaís C. M. ; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de A. **Historiografia e Natureza da Ciência na Sala de Aula.** Cad. Bras. Ens. Fís., v. 28, n. 1: p. 27-59, abr. 2011.

FORATO, Thaís C. M. **A Natureza da Ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz.** 2009. 204 f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Educação). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FREINET, C. **Pedagogia do bom-senso.** São Paulo: Martins Fontes, 1985.

FREIRE Jr., O. **A relevância da Filosofia e da História das Ciências para a formação dos professores de ciências.** In: Waldomiro José da Silva Filho. (Org.). Epistemologia e Ensino de Ciências. Salvador: Arcadia, 2002, v. , p. 13-30.

GAGLIARDI, R. **Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias**. Enseñanza de las Ciencias, 1988, 6 (3), 291-296.

GAUTHIER, C. et al. **Por uma teoria da pedagogia: pesquisas contemporâneas sobre o saber docente**. Ijuí: E. Unijuí, 2006.

GIBBS, Graham. **Análise de dados qualitativos**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GIL PÉREZ, D. et. al. **Para uma imagem não deformada do trabalho científico**. Revista Ciência & Educação, v.7, n.2, p.125-153, 2001.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas. 2008.

GONZALEZ DE GOMEZ, M. N. **As relações entre ciência, Estado e sociedade: um domínio de visibilidade para as questões da informação**. Ciência da Informação, Brasília, v. 32, n. 1, p. 60-76, jan./abr. 2003.

GOWIN, B. D. **Educating**. New York: Cornell University Press, 1981.

GREENE, Brian. **The Elegant Universe**. [Filme-vídeo]. PBS – NOVA, 2003.

GRIBBIN, John R. **No início: antes e depois do Big Bang**. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

HOLTON, G. **A imaginação científica**. Rio de Janeiro: Zahar, 1979.

ISAACSON, W. **Einstein – Sua vida, seu Universo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

KÖHNLEIN, Janete F. K.; PEDUZZI, Luiz. O. Q. **Uma discussão sobre a Natureza da Ciência no ensino médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 22, n. 1: p. 36-70, abr. 2005.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1970.

KUHN, T. S. **A função do dogma na investigação científica.** In: *A Crítica da Ciência.* Rio de Janeiro: Zahar, 1979.

LAKATOS, I. **O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica.** In: I. Lakatos; A Musgrave (Org.). *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento.* São Paulo: Cultrix, EDUSP, p. 109-243. 1979.

LEDERMAN, N. G. **Nature of Science: Past, present, and future.** In: ABELL, S.; LEDERMAN, N. G. *Handbook of research in Science Education.* New York: Routledge, 2007.

LEDERMAN, N. G. **Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research.** *Journal of Research in Science Teaching,* New York, v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.

LONGHINI, Marcos D. e MORA, Iara M. **A natureza do conhecimento científico nas aulas de ciências nos anos iniciais do ensino fundamental.** Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – VII ENPEC Florianópolis, SC – 8 a 13 de novembro de 2009. Disponível em: < <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/245.pdf>>. Acesso em: 8 de agosto de 2015.

LOPES, J. B. **Aprender e ensinar física.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

LÜDKE, M., ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas.** São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, R. de A. **Sobre o papel da história da ciência no ensino.** *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência* (9): 3-5, 1990.

MARTINS, Roberto de Andrade. **O universo: teorias sobre sua origem e evolução.** Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.ghc.usp.br/Universo/index.html>. Acesso em: 20 de abril de 2014.

MATTHEWS, M. R. **História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

MATURANA, Humberto; VARELA, Francisco J. **A árvore do conhecimento.** Campinas: Psy II, 1995.

MAZZOTTI, A. J. A. e GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências sociais.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

MacFARLANE, Seth; ANN, Druyan; BRAGA, Brannon; TYSON, N. de Grasse. **COSMOS: A Spacetime Odyssey.** Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic Channel, Fuzzy Door Productions, 2014.

MARTIN, Philip. **Einstein and Eddington.** [Filme-vídeo]. Company Television, BBC - British Broadcasting Corporation, 2008.

MARUYAMA, U., BRAGA, M., GUERRA, A. **Leis & teorias: identificando aspectos sobre visões de Natureza da Ciência em estudantes do ensino médio num curso de física experimental.** Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – VIII ENPEC Campinas, SP – 5 a 9 de dezembro de 2011. Disponível em: < [http:// www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0257-1.pdf](http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0257-1.pdf) >. Acesso em: 20 de julho de 2015.

MIZUKAMI, Maria da Graça N. **Aprendizagem da docência: algumas contribuições de L. S. Shulman.** In: Educação - Revista do Centro de Educação. Santa Maria/BR, v.29, n.2, p.33-49, 2004.

MORAES, Roque. **Análise de conteúdo.** Revista Educação, Porto Alegre, v. 22, n. 37, 1999.

MOREIRA, M. A. **Pesquisa em ensino: o vê epistemológico de Gowin.** São Paulo: EPU, 1990.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. **Sobre o ensino do método científico.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.10, n.2: p.108-117, ago.1993.

MOREIRA, M. A. **Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal**. Artigo em página pessoal, 2003. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Pesquisa.pdf>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2009.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Ed. Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T.; OSTERMANN, F. **História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a Natureza da Ciência**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, p. 127-134, 2007.

MOSLEY, Michael J. **The Story Of Science: episódio 1, “O que há lá fora”**. [Filme-vídeo]. BBC, British Broadcasting Corporation, 2010.

MOURA, Breno A. **O que é Natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência?** Revista Brasileira de História da Ciência, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

NASCIMENTO, Viviane B. e CARVALHO, Anna Maria P. **A natureza do conhecimento científico e o ensino de ciências**. Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – VI ENPEC Florianópolis, SC – 26 de novembro a 1 de dezembro de 2007. Disponível em: < <http://axpfep1.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p452.pdf> >. Acesso em: 12 de agosto de 2015.

NOGUEIRA, Kleber L.; DIAS, Wilton S.; JUNIOR, Mikael F. R. **A gravitação nos livros didáticos do ensino médio: uma análise à luz de um dos critérios do PNLEM**. Atas do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – XVIII SNEF Vitória, ES – 26 a 30 de janeiro de 2009. Disponível em: < http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_agravitacaonoslivrosdida.trabalho.pdf >. Acesso em: 5 setembro de 2015.

NOVAK, J.D. e GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1995.

OHANIAN, HANS C. **Os erros de Einstein**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

OLIVEIRA, B. J.; JUNIOR, Olival F. **Uma conversa com Gerald Holton**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 3, p. 315-328, dez. 2006.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 5 (1), p. 23-48, 2000.

PAGLIARINI, Cassiano R. **Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio**. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências – Física Básica). Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

PAIS, A. **Sutil é o senhor - A ciência e a vida de Albert Einstein**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

PEDUZZI, Luiz. O. Q. **Da física e da cosmologia de Descartes à Gravitação newtoniana**. Curso de Evolução dos Conceitos da Física, Departamento de Física, UFSC, 2015. Disponível em: <<http://evolucaodosconceitos.wix.com/historia-da-ciencia>>. Acesso em: 26 de agosto de 2015.

PEDUZZI, L. O. Q.; ZYLBERSZTAJN, A.; MOREIRA, M. A. **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa seqüência de conteúdos em mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 14, n. 4, p. 239-246, 1992.

PENA, Fábio L. A. **Sobre a presença do Projeto *Harvard* no sistema educacional brasileiro**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 1, 1701, 2012.

PENA, Fábio L. A.; FILHO, AURINO R. **Relação entre a pesquisa em ensino de física e a prática docente: dificuldades assinaladas pela literatura nacional da área**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 3: p. 424-438, dez. 2008.

PESSOA Jr., Osvaldo (org.) **A Ciência Grega**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.cfh.ufsc.br/~wfil/cienciagrega.htm>. Acesso em: 20 de abril de 2014.

POPPER, K. R. **Conhecimento objetivo: uma abordagem evolucionária**. São Paulo: Ed. Univ. S. Paulo, 1975.

POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1993.

PORLÁN, R.; RIVERO, A. **El conocimiento de los profesores**. Sevilla: Díada Editorial S. L., 1998.

PRAIA, J. F.; CACHAPUZ, A. F. C.; GIL-PÉREZ, D. **Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência**. *Ciência e Educação*, v. 8, n. 1, p. 127-145, 2002.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. **O papel da Natureza da Ciência na educação para a cidadania**. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

RENN, Jürgen. **A física clássica de cabeça para baixo: Como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 1, p. 27 - 36, 2004.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. **A prática do professor e a pesquisa em ensino de física: novos elementos para repensar essa relação**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 22, n. 3: p. 316-337, dez. 2005.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F.; FERRAZ, G. **Ensino-aprendizagem de física no nível médio: o estado da arte da produção acadêmica no século XXI**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, 1402 (2009).

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

RUMMEL, J. F. **Introdução aos procedimentos de pesquisa em educação**. Porto Alegre: Globo, 1972.

SÁNCHEZ RON, J. M. **Usos y abusos de la historia de la física em la enseñanza.** Enseñanza de las Ciencias, 6 (2), 179-188, 1988.

SEGRÈ, E. **Dos Raios X aos Quarks: Físicos modernos e suas descobertas.** Brasília: Universidade de Brasília, 1987.

SELLERI, F. **Paradoxos e Realidade: ensaio sobre os fundamentos da microfísica.** Lisboa: Fragmentos, 1990.

SHULMAN, Lee. **Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching.** Educational Researcher, v.15, n.2, p. 4-14, 1986.

SHULMAN, Lee. **Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform.** Harvard Educational Review, v.57. n.1, p.1-22, 1987.

SILVA, Boniek V. da Cruz. **A Natureza da Ciência pelos alunos do ensino médio: um estudo exploratório.** Latin-American Journal of Physics Education. Vol. 4, No. 3, Setembro, 2010.

SILVA, Boniek V. da Cruz.; MARTINS, André F. P. **A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino médio.** Experiências em Ensino de Ciências – V5(2), pp. 71-91, 2010.

SILVA, Osmar H. M.; LABURÚ, C. E. **Inserção de componentes históricos e filosóficos em disciplinas das ciências naturais no ensino médio: reflexões a partir das controvérsias historiográficas entre Kuhn e Lakatos.** Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, vol. 5, núm. 2, diciembre, 2010, pp. 69-82.

SILVA, T. N.; SANTOS, B. R. G.; BATISTA, G. L. F. **Um breve estudo exploratório sobre HFC e o ensino de Física: Quantificação de artigos em eventos e periódicos nacionais.** XX Simpósio Nacional de Ensino de Física. São Paulo, SP, 2013. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0250-2.pdf>>. Acesso em: 8 de maio de 2014.

SILVA, Henrique César da. **Discursos escolares sobre Gravitação newtoniana: textos e imagens na física do ensino médio** [tese] / Henrique César da Silva; orientador, Maria José Pereira Monteiro de Almeida. Campinas, SP, 2002.

SILVEIRA, F. Lang. da; OSTERMANN, F. **A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n. especial: p.7-27, jun. 2002.

SILVEIRA, F. Lang. da; PEDUZZI, L. O. Q.; **Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 1: p. 26-52, abr. 2006.

SILVEIRA, F. Lang. da. **A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 13, n. 3, p. 219-230, 1996.

SMOOT, George F.; DAVIDSON, K. **Dobras no tempo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1995.

SOLBES, J.; TRAVER, M. **Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las classes de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas**. Enseñanza de las Ciencias, 2001, 19 (1), 151-162.

SOUZA O. F., Kepler; SARAIVA, Maria de Fátima O. **Astronomia e Astrofísica**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://astro.if.ufrgs.br/index.htm>. Acesso em: 20 de abril de 2014.

STAUB, A. C. M. ; CRUZ, F. F. S. . **Transposição Didática do Modelo de Huygens: reconstruções das ideias originalmente propostas no tratado da luz**. In: VII Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis. VII Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências, 2009.

TARDIF, M.; RAYMOND, D. **Saberes, tempo e aprendizagem do trabalho no magistério**. Educação & Sociedade, ano XXI, n. 73, Dezembro, 2000.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional**. Rio de Janeiro: Vozes, 2007.

TEIXEIRA, E. S.; EL-HANI, C. N.; FREIRE JR., O. **Concepções de estudantes de física sobre a Natureza da Ciência e sua transformação por uma abordagem contextual do ensino de ciências.** Revista da ABRAPEC, Vol.1, nº 3. 2001, p. 111.

TEIXEIRA, E. S., FREIRE Jr., O., EL-HANI, C. N. **A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da Natureza da Ciência de estudantes de física.** Ciência & Educação, v. 15, n. 3, p. 529-556, 2009.

TEIXEIRA, E. S.; PEDUZZI, Luiz O. Q.; FREIRE Jr., Olival. **Os caminhos de newton para a gravitação universal: uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 27, n. 2: p. 215-254, ago. 2010.

TERRAZZAN, E. A. **A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º Grau.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais.** São Paulo: Atlas, 1987.

VÁSQUEZ-ALONSO, Ángel; MANASSERO-MAS, Maria A.; ACEVEDO-DÍAZ, José A.; ACEVEDO-ROMERO, Pilar. **Consensos sobre a Natureza da Ciência: A Ciência e a Tecnologia na Sociedade.** Química Nova na Escola, n. 27, 2008.

VILAS BOAS, Anderson; SILVA, Marcos R.; PASSOS, Marinez M.; ARRUDA, Sergio de M. **História da Ciência e Natureza da Ciência: debates e consensos.** Cad. Bras. Ens. Fís., v. 30, n. 2: p. 287-322, ago. 2013.

VILLANI, Alberto. **Filosofia da ciência e ensino de ciência: uma analogia.** Ciência e educação, v. 7, n. 2, p. 169-181, 2001.

WAGA, I. **Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o século XXI.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 1, pg. 157-173, mar. 2005.

WESTFALL, R. S. **A vida de Isaac Newton.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1993.

ZEICHNER, K. M. “Para além da divisão entre professor-pesquisador e pesquisador acadêmico”. In: GERALDI, C. M. G.; FIORENTINI, D.; PEREIRA, E. M. de A. **Cartografias do trabalho docente: professor(a)-pesquisador(a)**. Campinas/BR: Mercado de Letras; Associação Brasileira de Leitura/ALB, 1998.

ZYLBERSZTAJN, Arden. **Galileu – um cientista e várias versões**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, n. 5 (número especial), 36-48, jun. 1988.

APÊNDICES

Apêndice A - Planos de Ensino – A Natureza da Ciência em um Estudo com a Gravitação

Os planos de ensino apresentados aqui são uma sugestão de dinâmica. Sugerimos a leitura prévia dos mesmos, e sua permanente consulta sempre que necessário. Preferimos usar os termos “encontros” e “momentos” no lugar de “aulas” e “tempo”, para possibilitar a flexibilização do andamento das atividades, ou seja, estes encontros e momentos poderão depender do número de aulas disponíveis e da duração das mesmas para o caso de sua escola. Contudo, indicamos uma sugestão de tempo previsto, tomando por base aulas de 45 minutos. Os tempos de exposição (apresentações eletrônicas) e discussão dos temas poderão estar fundidos, ou seja, não pretendemos que essas duas etapas sejam separadas. As discussões podem ser realizadas ao longo das exposições.

Primeiro encontro

Ações de ensino	
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar a unidade de ensino: seus objetivos e dinâmica de atividades; • Obter, junto aos alunos, algumas primeiras impressões em relação à atividade científica; • Construir e registrar um quadro sintético das características da atividade científica, segundo essas impressões; • Orientar a leitura dos textos. 	

Momentos do primeiro encontro

Quadro sintético

Momento 1 (10 min)	Apresentação geral, da dinâmica das aulas e exposição dos objetivos da unidade de ensino.
Momento 2 (15 min)	Promoção e condução de conversa coletiva sobre as concepções dos alunos em relação à atividade científica.
Momento 3 (15 min)	Construção, com os alunos, de um quadro com os principais elementos e características da atividade científica, segundo suas concepções iniciais.
Momento 4 (5 min)	Indicação e instruções de leitura, para o próximo encontro, do texto 1.

Dinâmica proposta

Momento 1	Apresentar aos alunos a temática geral a ser trabalhada nos encontros, seus objetivos gerais e dinâmicas de aula, como se segue. Comentar sobre a importância dos estudos com a gravidade, campo que produziu alguns dos conhecimentos mais importantes da ciência. Sugerir como a evolução de seus conceitos principais, a serem estudados ao longo da unidade de ensino, é propícia para se discutir não só as descobertas e teorias da ciência, mas também um pouco de seu próprio funcionamento, ou seja, seus processos de construção de conhecimento, enfatizando que este funcionamento da ciência é um dos principais objetivos da presente unidade. Em seguida mencionar a importância da participação efetiva dos alunos, com a leitura dos textos e realização das atividades propostas (essas atividades poderão ser consideradas como avaliativas pelo professor). Coletar e dirimir as dúvidas dos alunos a respeito dos objetivos e procedimentos da unidade de ensino.
Momentos 2 e 3	Mencionar (novamente) que a atividade científica será foco das discussões ao longo da unidade de ensino, e que para isso é muito importante começar por suas próprias visões a respeito desta atividade, buscando uma otimização a respeito dessas visões ao longo das discussões. Traçar uma tabela na lousa, com o título sugerido: “Características da atividade científica”. A seguir, conversar com os alunos, procurando indagar sobre o que eles consideram ser “ciência”, e quais seriam suas características. Induzir suas respostas e afirmações (induzir sua participação, naturalmente), mas não influenciar essas mesmas, uma vez que o objetivo é formar um quadro geral com as concepções dos alunos, a ser posteriormente discutida. Para isso, tirar uma foto do quadro resultante, ou solicitar que algum aluno o transcreva, ou fazer isso pessoalmente ao longo das conversas (escolher a estratégia que melhor lhe convir), para a atividade de discussão final. Nesta etapa é bastante provável que não exista um consenso em relação às características compiladas no quadro. Informar então aos alunos que se trata da imagem mais próxima da maioria participante. Ainda, colocar diferentes colunas na tabela, com características não consensuais, informando sua ocorrência, se for o caso. As discussões com os textos e apresentações deverão, sempre que possível, “dialogar” com essas impressões coletadas.
Momento 4	Reiterar a importância da participação dos alunos durante a unidade de ensino, e, para isso, enfatizar a importância da leitura dos textos e realização das atividades propostas. Apresentar o texto para os alunos, mencionando algumas técnicas básicas de leitura atenta, como sublinhar trechos considerados mais importantes e, principalmente, trechos onde houver dúvidas e/ou interesse de se comentar um pouco mais. Mencionar que trazer os textos com as devidas anotações e partes grifadas será inclusive parte das atividades, ou seja, é parte do que é esperado deles. Informar que ao final da unidade haverá uma atividade de avaliação, para tecer um retorno efetivo da unidade de ensino, por parte dos alunos. Entregar o <i>texto 1</i> para os alunos, indicando sua leitura para o próximo encontro. Reiterar a importância da leitura atenta do texto, pois isso será pré-requisito para realizar as atividades em sala. Dependendo do número de aulas, e do tempo didático, aquele efetivamente utilizado em sala, deixamos a possibilidade de mudança nos tempos dessa dinâmica, para otimizar o

	trabalho (a depender do tempo didático, a leitura do texto poderá ser iniciada em classe, por exemplo).
--	---

Segundo encontro

Ações de ensino	Aprendizagens esperadas
<ul style="list-style-type: none"> • sondar as impressões e dificuldades encontradas com o texto 1; • realizar a atividade 1; • expor/discutir os conteúdos do texto 1; • orientar a leitura do texto 2. 	<ul style="list-style-type: none"> • reconhecimento da atividade científica como uma disputa de diferentes explicações; • caracterização dos sistemas Geocêntrico e Heliocêntrico; • compreensão da explicação do movimento retrógrado segundo o sistema geocêntrico • compreensão do termo <i>ad-hoc</i>.

Momentos do segundo encontro

Quadro sintético

Momento 1 (5 min)	Promoção e condução de conversa coletiva sobre o resultado da leitura e estudo do texto 1.
Momento 2 (10 min)	Coordenação do desenvolvimento da atividade 1.
Momento 3 (25 min)	Exposição da apresentação eletrônica 1 e discussão coletiva sobre o conteúdo do texto 1.
Momento 4 (5 min)	Indicação de leitura do texto 2.

Dinâmica proposta

Momentos 1 e 2	Chamar os alunos para um primeiro conjunto de impressões em relação ao texto lido. Qual a imagem geral em relação ao texto? Foi uma leitura interessante? Foi difícil? Quais partes? Anotar em um canto na lousa, para posterior consulta e discussão. Encaminhar a atividade 1 em grupo (recomendamos um total de cinco grupos na sala, consoante à atividade 4, que necessita desse número). Fazer uma breve rodada de discussão das respostas das equipes, mencionando que essas questões serão aprofundadas na apresentação e discussão do texto 1.
Momento 3	Iniciar a apresentação eletrônica referente ao texto, sempre atentando às questões, curiosidades e dúvidas dos alunos. Procurar apresentar cada slide a partir da - e com a - participação dos alunos, mantendo o interesse desses e uma dinâmica a mais interativa possível. As discussões centrais deverão ser realizadas ao longo da apresentação,

	procurando debater os apontamentos dos alunos referentes à atividade 1, ilustrando e voltando aos conteúdos discutidos sempre que oportuno. Inquirir os alunos sobre as dificuldades encontradas no texto, e o papel da apresentação eletrônica e da discussão em sala no sentido de resolvê-las. Inquirir os alunos sobre possíveis dúvidas, curiosidades e questões não contempladas nas discussões, procurando intermediar a discussão até a resolução mais oportuna.
Momento 4	Entregar o texto 2 para os alunos. Reiterar as dicas anteriormente sugeridas, sobre marcação das passagens onde houver dúvidas e curiosidades que se deseja discutir.

Terceiro encontro

Ações de ensino	Aprendizagens esperadas
<ul style="list-style-type: none"> • coletar as impressões e dificuldades encontradas com o texto 2; • realizar a atividade 2; • expor/discutir os conteúdos do texto 2; • orientar a leitura do texto 3. 	<ul style="list-style-type: none"> • compreensão da explicação do movimento retrógrado segundo os dois sistemas; • diferenciar prova e corroboração; • conhecer os critérios de teste de uma teoria e acomodações das anomalias, segundo a tipologia epistemológica discutida; • conhecer os critérios de escolha entre teorias concorrentes – a força heurística.

Momentos do terceiro encontro

Quadro sintético

Momento 1 (4 min)	Promoção e condução de conversa coletiva sobre o resultado da leitura e estudo do texto 2.
Momento 2 (20 min)	Coordenação do desenvolvimento da atividade 2.
Momento 3 (20 min)	Exposição da apresentação eletrônica e discussão coletiva sobre o conteúdo do texto 2.
Momento 4 (1 min)	Indicação de leitura do texto 3.

Dinâmica proposta

Momentos 1 e 2	Chamar os alunos para um primeiro conjunto de impressões em relação ao texto lido, conforme plano de ensino anterior. Fazer o encaminhamento da atividade 2. Note que essa atividade possui um
-----------------------	--

	número maior de questões, por isso é destinado uma previsão maior de tempo para sua execução pelas equipes.
Momento 3	Passar à apresentação eletrônica 2 e discussão texto, procurando debater as respostas dos alunos, ilustrando e voltando aos conteúdos discutidos sempre que oportuno. Proceder conforme planos anteriores.
Momento 4	Entregar o texto 3 para os alunos e reiterar as instruções para uma leitura atenta.

Quarto encontro

Ações de ensino	Aprendizagens esperadas
<ul style="list-style-type: none"> • coletar as impressões e dificuldades encontradas com o texto 3; • realizar a atividade 3; • expor/discutir os conteúdos do texto 3; • instruir os alunos a respeito das atividades do próximo encontro. 	<ul style="list-style-type: none"> • compreender os elementos básicos da Gravação de Einstein: o princípio da equivalência e a curvatura do espaço; • compreender os elementos progressivos da relatividade: a resolução do problema do periélio de Mercúrio e o desvio da luz em um campo gravitacional (o teste de 1919); • saber contextualizar a experimentação no desenvolvimento de uma teoria.

Momentos do quarto encontro

Quadro sintético

Momento 1 (5 min)	Promoção e condução de conversa coletiva sobre o resultado da leitura e estudo do texto 3.
Momento 2 (15 min)	Coordenação do desenvolvimento da atividade 3.
Momento 3 (20 min)	Exposição da apresentação eletrônica e discussão coletiva sobre o conteúdo do texto 3.
Momento 4 (5 min)	Orientação relativa às atividades do próximo encontro.

Dinâmica proposta

Momentos 1 e 2	Proceder às atividades conforme programas anteriores. São esperadas algumas dificuldades com as questões, em função do assunto pouco conhecido a trabalhado na escola (princípio da equivalência, curvatura
-----------------------	---

	do espaço). Permitir que os grupos cheguem no maior consenso possível a respeito das respostas, e reiterar a importância da apresentação nesse sentido, onde as dúvidas e dificuldades serão devidamente dirimidas.
Momento 3	Passar à apresentação eletrônica 2 e discussão texto, procurando debater as respostas dos alunos, ilustrando e voltando aos conteúdos discutidos sempre que oportuno. Proceder conforme planos anteriores.
Momento 4	Orientar os alunos a respeito das atividades do próximo encontro, conforme se segue. Os alunos receberão, no próximo encontro, dois parágrafos ou textos retirados de livros didáticos de física, que versam a respeito da natureza da atividade científica. Os alunos deverão emitir um parecer (a ser detalhado no próximo plano de ensino) a respeito desses parágrafos, sendo necessário que os textos estejam suficientemente compreendidos. Informar então que a tarefa para o próximo encontro será justamente esse preparo, sendo fundamental revisitar os textos e formular qualquer dúvida persistente. Enfatizar a importância dessa tarefa, uma vez que será a partir das dúvidas restantes que será promovida uma rodada de discussão que antecede a atividade propriamente dita. Os alunos poderão consultar todos os textos para subsidiar seus pareceres.

Quinto encontro

Ações de ensino	Aprendizagens esperadas
<ul style="list-style-type: none"> • realizar a atividade 4; • instruir os alunos a respeito da atividade avaliativa, a ser realizada no próximo encontro. 	<ul style="list-style-type: none"> • fortalecimento dos elementos da natureza discutidos.

Momentos do quinto encontro:

Quadro sintético

Momento 1 (15 min)	Coordenação do desenvolvimento da atividade 4.
Momento 2 (25 min)	Promover a discussão entre os grupos.
Momento 3 (4 min)	Indagar sobre qualquer ponto que os alunos possam querer complementar e gerenciar a melhor resolução para esses.
Momento 4 (1 min)	Orientar os alunos a respeito da atividade avaliativa, a ser realizada no próximo e penúltimo encontro.

Dinâmica proposta

Momento 1	Encaminhar a atividade 4 para os alunos. Cada grupo (do total de cinco grupos) receberá uma atividade diferente, demarcadas por 4a, 4b, 4c, 4d
------------------	--

	e 4e. Todas essas versam sobre algum elemento da atividade científica, e os alunos deverão emitir um parecer a respeito de sua concordância ou discordância com o que é afirmado nos trechos presentes na atividade. Orientar as equipes de que seu parecer, um para cada parágrafo ou texto, deverá ser devidamente argumentado com base nos conhecimentos discutidos nas aulas a respeito da Natureza da Ciência. Esse parecer será compartilhado com a classe, na atividade de discussão que se seguirá.
Momento 2	Iniciar a discussão entre os grupos, solicitando que algum deles apresente seu trecho a ser comentado e o parecer formulado pela equipe. Para auxiliar essa discussão, cada trecho a ser discutido deverá ser projetado em local visível a todos os grupos (usar a apresentação eletrônica 4: atividade de discussão). Intermediar as discussões, no sentido de averiguar a concordância dos demais grupos em relação ao parecer emitido. Gerenciar qualquer discordância e resolvê-la adequadamente, e, ao final das discussões de cada trecho, complementar qualquer ponto que julgar necessário.
Momento 3	Finalizar as discussões, indagando se há qualquer questão ainda presente que os alunos possam querer elucidar, e resolvê-la, se for o caso, de forma mais adequada.
Momento 4	Informar aos alunos de que no próximo encontro será realizada uma atividade avaliativa individual, sem consulta aos materiais, sobre os elementos da natureza discutidos na unidade de ensino. Enfatizar a importância desta avaliação para esboçarmos um retorno o mais completo possível a respeito da eficácia das aulas. Sugerir que os materiais sejam revisitados em casa, e informar que a avaliação será baseada nos assuntos discutidos nas atividades realizadas em sala.

Sexto encontro

- Realização de atividade avaliativa.

Fornecer a folha de avaliação aos alunos, e solicitar que respondam as questões de modo mais completo possível.

Sétimo encontro

Ações de ensino

- retorno da atividade avaliativa;
- discussão dos resultados;
- retorno geral da unidade de ensino pelos alunos: impressões, dificuldades, sugestões.

Momentos do sétimo encontro

Quadro sintético

Momento 1 (30 min)	Retorno da atividade avaliativa: impressões gerais dos alunos, dificuldades encontradas e desempenho geral.
Momento 2 (13 min)	Discussão geral da unidade de ensino: impressões, dificuldades, sugestões e avaliação de seu andamento por parte dos alunos.
Momento 3 (2 minutos)	Agradecimento e fechamento da unidade.

Dinâmica proposta

Momento 1	Comentário geral sobre a avaliação individual realizada: desempenho geral da classe e casos específicos, se oportuno. Perguntar aos alunos sobre a atividade avaliativa realizada: dificuldades? Dúvidas restantes? Entregar as avaliações aos alunos (lembrar de só o fazer após ter cópias das mesmas, para a pesquisa a qual você está participando), e pedir que analisem brevemente as correções feitas. Reservar um tempo para possíveis trocas relativas a essa atividade avaliativa, e resolver de forma adequada qualquer pendência, se for o caso.
Momento 2	Inquirir os alunos a respeito da unidade de ensino como um todo. Quais suas impressões? Quais as principais dificuldades? Como eles aceitaram a leitura dos textos? Quais suas possíveis críticas? Quais suas possíveis sugestões? E, fundamentalmente, quais suas impressões sobre a evolução de sua visão em relação à atividade científica? Comentar com os alunos qualquer questão adicional que julgar oportuno.
Momento 3	Agradecer a participação da turma, lembrando e enfatizando que a unidade de ensino, parte de uma pesquisa acadêmica, teve um duplo propósito: trazer importantes discussões à escola, sobre elementos da Natureza da Ciência, e permitir que os resultados constatados com essas discussões possam servir para melhorias na educação como um todo.

Apêndice B - Quadro sintético geral – Momentos, ações de ensino e objetivos

Primeiro Encontro		
Momentos	Ações de Ensino	Objetivos
Momento 1	Apresentação geral, da dinâmica das aulas e exposição dos objetivos da unidade de ensino.	Possibilitar aos alunos a ciência das etapas e objetivos da unidade a ser trabalhada.
Momento 2	Promoção e condução de conversa coletiva sobre as concepções dos alunos em relação à atividade científica	Possibilitar aos alunos a ciência de suas concepções a respeito da atividade científica, otimizando, posteriormente, seu sentimento de significância em relação à possível evolução de suas concepções.
Momento 3	Construção, com os alunos, de um quadro com os principais elementos e características da atividade científica, segundo suas concepções iniciais.	Idem.
Momento 4	Indicação e instruções de leitura, para o próximo encontro, do texto 1.	Apresentar e atribuir tarefas para a realização de leitura e estudo do texto 1
Segundo Encontro		
Momentos	Ações de Ensino	Objetivos
Momento 1	Promoção e condução de conversa coletiva sobre o resultado da leitura e estudo do texto 1.	Realizar levantamento, mediante participação espontânea dos alunos, de: a) dúvidas sobre entendimento de termos/expressões; b) dificuldades de compreensão de trechos específicos; c) trechos/ideias consideradas centrais para a compreensão do conteúdo do texto.
Momento 2	Coordenação do desenvolvimento da atividade 1.	Proporcionar aos alunos situações para que eles manifestem compreensão sobre aspectos/trechos selecionados do conteúdo do texto 1.
Momento 3	Exposição da apresentação eletrônica 1 e discussão coletiva sobre o conteúdo do texto 1.	Realizar exposição e discussão coletiva sobre o conteúdo do texto 1, complementando/adicionando informações e explicações.
Momento 4	Indicação de leitura do texto 2.	Apresentar e atribuir tarefas para a realização de leitura e estudo do texto 2.
Terceiro Encontro		
Momentos	Ações de Ensino	Objetivos
Momento 1	Promoção e condução de conversa coletiva sobre o resultado da leitura e estudo do texto 2.	Realizar levantamento, mediante participação espontânea dos alunos, de: a) dúvidas sobre entendimento de termos/expressões; b) dificuldades de compreensão de trechos específicos; c) trechos/ideias consideradas centrais para a compreensão do conteúdo do texto.

Momento 2	Coordenação do desenvolvimento da atividade 2.	Proporcionar aos alunos situações para que eles manifestem compreensão sobre aspectos/trechos selecionados do conteúdo do texto 2.
Momento 3	Exposição da apresentação eletrônica e discussão coletiva sobre o conteúdo do texto 2.	Realizar exposição e discussão coletiva sobre o conteúdo do texto 2, complementando/adicionando informações e explicações.
Momento 4	Indicação de leitura do texto 3.	Apresentar e atribuir tarefas para a realização de leitura e estudo do texto 3.
Quarto Encontro		
Momentos	Ações de Ensino	Objetivos
Momento 1	Promoção e condução de conversa coletiva sobre o resultado da leitura e estudo do texto 3.	Realizar levantamento, mediante participação espontânea dos alunos, de: a) dúvidas sobre entendimento de termos/expressões; b) dificuldades de compreensão de trechos específicos; c) trechos/ideias consideradas centrais para a compreensão do conteúdo do texto.
Momento 2	Coordenação do desenvolvimento da atividade 3.	Proporcionar aos alunos situações para que eles manifestem compreensão sobre aspectos/trechos selecionados do conteúdo do texto 3.
Momento 3	Exposição da apresentação eletrônica e discussão coletiva sobre o conteúdo do texto 3.	Realizar exposição e discussão coletiva sobre o conteúdo do texto 2, complementando/adicionando informações e explicações.
Momento 4	Orientação relativa às atividades do próximo encontro.	Esclarecimento das tarefas a serem realizadas no próximo encontro.
Quinto Encontro		
Momentos	Ações de Ensino	Objetivos
Momento 1	Coordenação do desenvolvimento da atividade 4.	Permitir aos alunos, por meio de trocas com seus colegas, a discussão e construção de um parecer em relação a afirmações a respeito da atividade científica. Possibilitar a identificação de indicadores de aprendizagem em relação aos elementos da Natureza da Ciência discutidos nas aulas.
Momento 2	Promover a discussão entre os grupos.	Permitir aos alunos, por meio de trocas com seus colegas, a discussão dos pareceres construídos pelas equipes, possibilitando a otimização de sua compreensão pela mobilização de suas aprendizagens.
Momento 3	Indagar sobre qualquer ponto que os alunos possam querer complementar e gerenciar a melhor resolução para esses.	Possibilitar com que possíveis questões não devidamente contempladas até então possam ser resolvidas da melhor forma.
Momento 4	Orientar os alunos a respeito da atividade avaliativa, a ser realizada no próximo e penúltimo encontro.	Esclarecimento das intenções e procedimentos em relação à atividade individual a ser realizada no próximo encontro.
Sexto Encontro		

Momentos	Ações de Ensino	Objetivos
Momento 1	Realização de atividade avaliativa.	Permitir que o aluno se manifeste a respeito das questões discutidas ao longo da unidade, de modo a constituir um retorno mais pormenorizado de seus conhecimentos, para possibilitar uma avaliação em relação às aprendizagens esperadas.
Sétimo Encontro		
Momentos	Ações de Ensino	Objetivos
Momento 1	Retorno da atividade avaliativa: impressões gerais dos alunos, dificuldades encontradas e desempenho geral.	Fazer a devolução da atividade avaliativa e permitir que o aluno se manifeste em relação a essa, procurando traçar um esboço geral do desenvolvimento dos alunos.
Momento 2	Discussão geral da unidade de ensino: impressões, dificuldades, sugestões e avaliação de seu andamento por parte dos alunos.	Permitir que os alunos se manifestem em relação à unidade de ensino como um todo: procedimentos, textos, apresentações, atividades, discussões. Possibilitar um retorno, por parte dos alunos, para auxiliar na avaliação da eficácia da unidade de ensino.
Momento 3	Agradecer a participação dos alunos e enfatizar a importância de sua colaboração.	Permitir que os alunos estejam cientes da importância de sua participação nas atividades, ao permitir que a unidade de ensino tenha dupla função: trazer importantes discussões à escola, sobre elementos da Natureza da Ciência, e permitir que os resultados constatados com essas discussões possam servir para melhorias na educação como um todo.

Apêndice C – Os textos para os alunos

Texto 1 - Um despertar na Grécia

Até um pouco mais de um século atrás, grande parte da compreensão de que dispúnhamos a respeito do universo provinha da mecânica newtoniana, ou seja, das teorias e métodos matemáticos desenvolvidos por Isaac Newton (1643 – 1727)²⁸ e outros cientistas que aprofundaram e diversificaram seus estudos. Newton tinha formulado, por exemplo, os princípios básicos da dinâmica (as hoje chamadas leis de Newton), a teoria da Gravitação universal e o cálculo exigido para se lidar com essas questões sob os mais diversos contextos. Naturalmente, tudo isso não surgiu totalmente pronto, com Newton. Este cientista se baseou nos estudos de outros antes dele, como Kepler (que se baseou em outros cientistas antes dele, e assim por diante). Para entendermos melhor a natureza de suas contribuições é importante discutirmos a respeito dos processos de obtenção do conhecimento científico.

Existem diferentes formas de ver a atividade científica, e em nossas discussões veremos uma forma bastante didática que nos permite uma primeira aproximação das características das teorias científicas. Entender um pouco mais a respeito da atividade científica é importante para que possamos compreender como a ciência produz teorias de grande sucesso explicativo, como fazemos para escolher uma explicação frente a outra, e mesmo para que possamos pensar a respeito de seus limites. É muito comum ouvirmos que algo foi “cientificamente provado”, virando mesmo um “slogan” em muitos comerciais de TV, por exemplo. Mas o que a ciência pode “provar”? Qual o seu alcance? Como podemos “confiar” em nossas teorias, se é que podemos?

Poderíamos fazer essa discussão com qualquer ramo da ciência, mas escolhemos falar sobre Gravitação, por poucos e bons motivos. A Gravitação, que busca compreender como os corpos celestes interagem entre si, foi e ainda é palco para o surgimento de algumas de nossas mais importantes teorias. No passado a Gravitação foi muito importante para explicar o que era observado no céu, passando pela evolução de nossa compreensão não apenas do mundo que nos cerca, como também das nossas próprias capacidades de explicar as coisas. E hoje a Gravitação continua muito importante (se não mais!) ao possibilitar, por exemplo,

²⁸ Quando os anos de nascimento e morte se referirem ao período d.c., apresentaremos apenas os números.

uma rede de comunicação global e praticamente instantânea, e toda nossa tecnologia espacial que a cada dia nos permite realizar novas descobertas.

Os processos de obtenção de conhecimento científico, os elementos que caracterizam a atividade científica, enfim, as considerações a respeito do funcionamento da ciência, podem ser entendidos por *Natureza da Ciência*, termo que aparece no título principal desta unidade de ensino. Mas para compreendermos adequadamente alguns aspectos da Natureza da Ciência, e para entendermos como a Gravitação se consolidou, precisamos voltar um pouco no tempo.

Há mais de dois mil anos atrás houve um período singular na Grécia, onde alguns pensadores tentaram buscar explicações para os fenômenos naturais que não dependessem da vontade dos deuses. Estes pensadores podem ser considerados os precursores dos cientistas, e algumas questões levantadas nesta época iriam produzir séculos de embates e discussões a respeito de questões como a constituição de tudo o que existe (átomos, substâncias, combinações), nossa posição no universo (sistema solar e fenômenos celestes), a dinâmica dos movimentos (forças, acelerações, trajetórias), a história natural (seres vivos, fenômenos biológicos) e a matemática associada ao estudo de todos esses campos, junto com seus próprios problemas.

E apesar destes pensadores estarem “lá atrás” na história, é interessante saber que já havia pessoas que achavam que a Terra girava em torno de seu próprio eixo, como Heráclides (390 a.c. – 310 a.c.), e que até mesmo já tinham obtido estimativas muito boas para o tamanho de nosso planeta, como Eratóstenes (276 a.c. – 194 a.c.). E haviam outros que achavam mais natural que a Terra girasse em torno do Sol, como Aristarco (310 a.c. – 230 a.c.). Este pensador também fez boas estimativas a respeito das dimensões da Terra e da Lua. É instigante (mas não sem explicação, como veremos) que essa ideia de heliocentrismo (concepção de que os planetas, incluindo a Terra, giram em torno do Sol) não tenha ganhado muitos adeptos, sendo praticamente apagada pelo geocentrismo (concepção de que a Terra fica no centro do sistema, ou mesmo do universo) por quase dois mil anos. Mas daqui a pouco chegaremos lá.

Um grande problema com essa questão de “quem gira em torno de quem”, é que os fenômenos básicos observados parecem confirmar ambas as suposições. Se você considera “óbvio” que nosso planeta é só mais um a orbitar o Sol, já tentou perceber a dificuldade para se evidenciar esse movimento? Afinal, se supusermos que a Terra está parada, e o Sol e tudo o mais giram ao nosso redor, o que observaremos em relação ao movimento do Sol, da Lua, das estrelas? Quais as evidências que você conhece de que a Terra está em movimento? Pense um pouco a respeito.

Se o que observamos é essencialmente o mesmo, supondo a Terra em movimento ou não, então como podemos avaliar nossas hipóteses, ou seja, aquilo que “achamos” ser verdade? Como sabemos se é a Terra ou o Sol que está no centro do sistema? Ou nem um e nem outro? É de se supor que existam meios minimamente objetivos para escolher qual hipótese, qual teoria é a *melhor* (e também meios para decidir o que significa ser “melhor”!). Mas serão estes meios simples e evidentes? Será que temos um “método científico”, um roteiro de procedimentos que nos leve garantidamente à melhor teoria? Se temos, então em que consiste? Quais os seus itens? E, se não temos, então como é possível sabermos qual é a melhor teoria? Ainda, que características podemos atribuir a uma teoria para que ela seja considerada a melhor? São questões que procuraremos tratar ao longo de nossas discussões. Para isso, voltemos aos nossos amigos gregos.

A ideia de Aristarco, de uma Terra em movimento, embora fosse bastante interessante, não teve o mesmo alcance e influência que as ideias de outros pensadores da época. Um dos motivos mais diretos para isso é que, se a Terra estivesse em movimento, pensavam, então isto causaria efeitos perceptíveis na queda dos corpos e movimentos em geral. Por exemplo, supunha-se que, com a Terra em movimento, um objeto abandonado do alto de uma torre não cairia logo abaixo, mas um pouco afastado, devido ao movimento da Terra durante a queda do objeto. E também se acreditava que este movimento terrestre produziria ventos fortíssimos e constantes. O que você acha desses argumentos?

Não é de se estranhar que as pessoas de então confiassem mais em seus sentidos diretos, e nossas impressões imediatas conduzem facilmente a uma Terra imóvel, com o Sol girando ao seu redor. Era o que defendia Aristóteles (384 a.c. – 322 a.c.), pensador muito mais influente na ciência²⁹ de então do que Aristarco. Aristóteles se dispôs a formular uma teoria que abrangesse as observações astronômicas de então, sendo um importante nome associado ao geocentrismo. Na verdade, ele se propôs a formular explicações para tudo o que era observado, tornando-se um dos pensadores mais prolíficos da história. Mas alguns pensadores que viriam

²⁹ Nessa época dos antigos gregos não havia uma ciência como nós conhecemos hoje. E embora já houvesse o que poderíamos associar a uma ciência, com tentativas de se explicar os fenômenos naturais, isso era parte da tradição da filosofia da época, que funcionava de modo distinto à nossa atual ciência. Não havia uma tradição de experimentar e pôr ideias à prova, por exemplo. Por isso alguns autores preferem se referir a esses “cientistas” como filósofos, ou simplesmente *pensadores*.

a seguir defendiam suas teorias ferozmente, de um modo praticamente dogmático, dificultando uma discussão saudável com outras formas de pensar.

Nesta época dos antigos gregos já eram conhecidos movimentos astronômicos estranhos, observados em relação aos planetas em determinadas épocas do ano, onde estes planetas aparentemente paravam no céu, e retrocediam (ver figura 1). Já então se sustentava (corretamente!) que estes movimentos seriam apenas aparentes, ou seja, o planeta em questão descreveria uma órbita contínua, sendo este movimento retrógrado resultado de uma combinação de outros movimentos contínuos. Por influência de Platão (que foi professor de Aristóteles), que considerava o círculo a forma geométrica perfeita, os planetas deveriam descrever trajetórias perfeitamente circulares. Como então explicar o retrocesso aparente?



Figura 1 – Movimento retrógrado.

Na imagem real, obtida entre julho de 2005 e fevereiro de 2006, Marte é visto no céu com uma diferença de tempo de aproximadamente uma semana, onde suas sucessivas posições são fotografadas e sobrepostas na mesma imagem. A trajetória se dá da esquerda para direita.

Fonte: <http://apod.nasa.gov/apod/ap060422.html>

Uma primeira (e complicada) tentativa de explicação com resultados relativamente satisfatórios, ou seja, que descrevia com algum grau de precisão aquilo que era observado, veio de um aluno de Platão, Eudoxo (390 a.c. – 338 a.c.). Este filósofo pensou em um conjunto de esferas concêntricas (com mesmo centro) que continham os corpos

celestes, e que giravam umas em relação às outras, resultando nos movimentos aparentes observados no céu (ver figura 2).

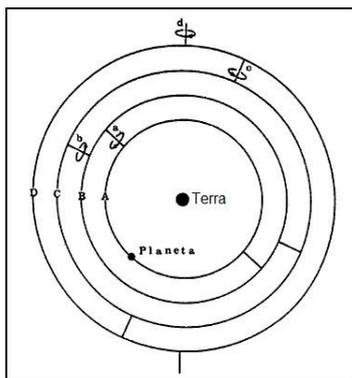


Figura 2 – Sistema de Eudoxo.

Para Eudoxo, os planetas eram fixos em esferas concêntricas (A, B, C...) com a Terra em seu centro, e giravam umas em relação às outras, como indicado (a, b, c...).

Adaptado de
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx>

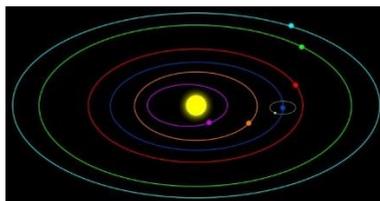
Mas cedo se constatou que este complicado sistema tinha problemas, como o fato de não explicar as variações conhecidas dos movimentos retrógrados de um mesmo planeta ao longo dos anos, e nem as variações de tamanho aparente da Lua e de brilho dos planetas vistos no céu.

Para tentar resolver estes problemas e melhorar o sistema de Eudoxo, outros pensadores acrescentaram mais esferas com movimentos ainda mais complicados, para reproduzir eficientemente os movimentos conhecidos, ou seja, para “salvar” os fenômenos observados. “Salvar”, neste contexto, significa ajustar a teoria, tantas vezes quanto for preciso, para melhor descrever os fenômenos em questão. Hoje este jogo de “tentativa e erro” pode parecer assustador, afinal, é assim que construímos teorias? Somando arbitrariamente mais elementos até nossas teorias se ajustarem ao que é observado? De qualquer forma, foi um recurso largamente empregado como explicação, o que resultou em sistemas com epiciclos (ver quadro 1) e outros movimentos, no mínimo, criativos.

Ptolomeu (90 - 168), bastante influenciado por Aristóteles, representa o auge destas tentativas de salvar os fenômenos, acrescentando elementos arbitrários que fizeram a teoria se ajustar ao máximo às observações. Este tipo de hipótese, formulada para ajustar as explicações aos fenômenos, é hoje conhecida por “ad hoc”, expressão latina cujo significado é “para isto”, “para esta finalidade”. Ou seja, uma hipótese ad hoc é uma tentativa de explicar alguma coisa, que nos permite ter um “ponto de partida” para justificarmos os fenômenos observados em relação às nossas teorias iniciais. Deste modo, uma hipótese ad hoc, como veremos, não é necessariamente algo indesejável na pesquisa científica, desde que encontremos posteriormente boas evidências que justifiquem essas hipóteses. Ou seja, nossas hipóteses devem ser posteriormente testadas de alguma maneira, para que elas não sejam simplesmente uma “aposta”, ou, pior, uma explicação sem nenhum compromisso com a realidade. O problema é produzir teorias com cada vez mais elementos ad hoc sem justificativas para além dos ajustes: como podemos saber se estes ajustes representam os fenômenos reais³⁰? Não existiriam teorias mais simples que explicassem os mesmos fenômenos? E, principalmente, se estas teorias mais simples existirem, então como podemos saber qual é a melhor? Qual chega mais perto do fenômeno estudado? Como podemos “provar” uma teoria? Conversaremos a respeito.



Sistema Geocêntrico - A Terra ocupa o centro do sistema. Para poder explicar os movimentos retrógrados, os planetas tinham que executar um movimento em epiciclo, ou seja, um movimento circular em torno de um ponto imaginário, sendo que esse ponto é que giraria em torno da Terra.



Sistema Heliocêntrico - O Sol é o centro do sistema, com os outros planetas girando ao seu redor.

Quadro 1 – Os dois sistemas

O conceito básico de geocentrismo e heliocentrismo. As figuras são simplificações do que era defendido por diferentes pensadores.

³⁰ Não é nossa intenção, nessa unidade de ensino, aprofundarmos o conceito de *realidade*, do ponto de vista filosófico. Nossa noção de realidade, e que adotamos ao longo de nossas discussões, é de que existe uma natureza objetiva independente de nós, sujeitos tentando conhecê-la.

Adaptado de <http://scienceblogs.com>

O fato é que a precisão³¹ obtida com todas estas hipóteses ad hoc era a melhor que se dispunha, o que tornou o geocentrismo de Aristóteles e Ptolomeu o modelo mais divulgado e aceito em relação aos movimentos celestes.

Este problema de “quem gira em torno de quem” é um exemplo do que se conhece como “relatividade dos movimentos”, ou seja, a resposta depende do ponto de referência que se adota (como você deve se lembrar das aulas de cinemática). Deste modo, não é errado dizer que o Sol gira em torno da Terra, se adotarmos a Terra como ponto de referência. A questão está em “sair do sistema”, no caso Terra-Sol, e julgar qual movimento é mais natural, que explica de modo mais adequado o que é observado.

O sistema aristotélico-ptolomaico³² foi largamente aceito pelos próximos mil e quinhentos anos, até que pensadores menos conformados (ou mais sinceros em relação à sua curiosidade?) questionaram a naturalidade desse sistema, iniciando uma “revolução” no sentido de mudar o que era pensado até então. Nicolau Copérnico (1473 - 1543) retomou a antiga ideia grega de um Sol no centro do sistema, mas ainda usava aqueles “recursos de ajuste” como os epiciclos, como veremos a seguir, e também considerava movimentos circulares para explicar o que era observado.

Até este momento, aceitar o sistema de Copérnico, heliocêntrico, ou o de Aristóteles e Ptolomeu, geocêntrico, era mais uma questão de escolha pessoal do que propriamente uma escolha pelo melhor sistema. Mas é importante saber que o sistema defendido por Copérnico foi o primeiro a ser matematicamente estruturado a tal ponto de ser uma alternativa “de peso” ao geocentrismo ptolomaico. Ou seja, não era um conjunto de hipóteses levianas, mas sim uma teoria cientificamente respeitável, aos olhos dos pensadores interessados nessas questões.

³¹ “Precisão”, nesse caso, significa que a teoria produz bons resultados, ou seja, as previsões teóricas estão de acordo com as observações.

³² Esse sistema, geocêntrico, pode ser denominado dessa maneira devido às contribuições desses dois pensadores. Contudo, cada um tinha diferentes maneiras de pensar sobre a imobilidade da Terra. Aristóteles apresentava considerações físicas, de explicação dos fenômenos. Já Ptolomeu contribuiu muito com a matemática desses fenômenos, ou seja, a descrição dos movimentos observados.

Para explicar o movimento retrógrado dos planetas, o sistema geocêntrico precisava dos epiciclos. Com este artifício, o movimento retrógrado podia ser explicado como um movimento relativo (como todos são) entre o planeta em questão e o fundo de estrelas fixas, conforme a figura 3.

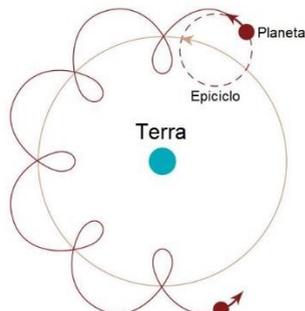


Figura 3 – O movimento retrógrado segundo o sistema geocêntrico.

Os planetas girariam em círculos em torno de um ponto que, por sua vez, giraria em círculo em torno da Terra, produzindo as “voltas” do movimento retrógrado.

Adaptado de <http://www.yorku.ca>

O sistema de Copérnico não eliminou os epiciclos, e nem mesmo se mostrava mais simples. Mas era matematicamente bastante preciso, e mesmo alguns cientistas que eram contra sua ideia central (Sol no centro do sistema) usavam sua teoria como recurso matemático, uma vez que produzia bons resultados (ou seja, uma boa concordância entre os resultados matemáticos e os fenômenos observados), o que servia de base para se compreender os calendários de então, por exemplo. Contudo, fisicamente, o heliocentrismo copernicano tinha alguns problemas sérios a resolver, como explicar porque não “sentimos” o movimento da Terra. Ainda, ao “tirar” a Terra do centro do sistema, era necessário explicar como a Lua girava ao nosso redor e como os objetos caíam quando abandonados, uma vez que, segundo a ciência de então, os objetos tendiam ao centro do universo, no caso, a Terra. Se a Terra não é o centro, então porque os objetos continuam caindo? Na verdade isso violava todo um conjunto de explicações aristotélicas a respeito do mundo, e por isso não era uma simples “troca de centro”, da Terra para o Sol. E Copérnico não tinha resposta para a “nova física” necessária ao se abandonar a ideia

de uma Terra no centro do universo. Por isso podemos dizer que a “revolução copernicana” não é resolvida por Copérnico. Serão necessários outros pensadores para isso, como veremos.

É importante mencionar ainda que o heliocentrismo de Copérnico, ao ir contra o que era amplamente defendido até então, era uma ideia perigosa, a ponto de colocar sua vida em risco, caso fosse amplamente divulgada! O pensamento corrente, o geocentrismo de Aristóteles e Ptolomeu, tinha não só um apelo popular de senso comum, como também um apelo religioso. Pois a ciência aristotélica tinha sido ajustada e defendida pelos círculos de influência do clero católico que, você deve se recordar das aulas de história, dominava a política e a cultura da época. Qualquer discordância em relação ao geocentrismo poderia ser também uma discordância em relação à igreja, o que podia resultar em sérias penalidades ao “herege”. Apenas para se ter uma ideia desse risco, mesmo depois de mais de meio século da morte de Copérnico, Giordano Bruno (1548 – 1600), um pensador que defendia o sistema copernicano e outras ideias que desagradavam a igreja, foi queimado vivo por isso!

Como Copérnico estava ciente dos riscos, preferiu guardar este “segredo” até o dia de sua morte. Somente depois seus escritos foram efetivamente divulgados, influenciando outros importantes pensadores. E esses não estavam muito dispostos a guardar o segredo para si, como veremos em nosso próximo encontro!

Atividades de compressão

1. Façam um esquema simples mostrando o que significa e quais as características dos sistemas Geocêntrico e Heliocêntrico, e quais pensadores são associados a cada um. Mostrem como o sistema geocêntrico explicava o movimento retrógrado.
2. O que vocês entenderam em relação ao termo *ad-hoc*, empregado no sentido descrito no texto?

Texto 2 - A supremacia da gravidade

Para entendermos adequadamente a importância e abrangência dos grandes avanços de entendimento de nosso sistema planetário, apresentamos anteriormente uma breve digressão a respeito dos dois sistemas explicativos em relação aos corpos celestes próximos, o nosso sistema solar. Como vimos, o sistema geocêntrico continha recursos ad hoc para se ajustar ao que era observado, e após a morte de Copérnico, que defendia o sistema heliocêntrico, seus escritos foram conhecidos por outros pensadores. E uma iminente revolução estava prestes a ocorrer³³! Um professor da Universidade de Pádua iria considerar seriamente o heliocentrismo e, diferentemente de Copérnico, começaria a espalhar o quanto antes a “novidade”.

Galileu Galilei (1564 – 1642) é um dos nomes mais importantes da ciência moderna. Fez estudos com planos inclinados, chegando a uma lei matemática dos objetos em queda, e descobriu que a aceleração com que os objetos caem não depende da massa dos mesmos (o que já era por si só uma afronta aos aristotélicos, que endossavam a noção de senso comum de que objetos mais pesados caem primeiro ao solo). Construiu o que talvez tenha sido a primeira luneta da história (embora não o primeiro telescópio, que já era usado por navegadores, sendo a Holanda um centro de construtores de lentes e telescópios, na época). Com ele, Galileu viu os anéis de Saturno³⁴ e alguns dos satélites³⁵ de Júpiter, que até então ninguém tinha visto. Fez os primeiros desenhos detalhados da Lua (a propósito, você já pensou o porquê da palavra “luneta”?), e isso foi um passo a mais contra os aristotélicos, que defendiam que os corpos celestes eram perfeitos, e irregularidades, montanhas e crateras não podiam fazer

³³ Podemos dizer que essa revolução começou com Copérnico, e se estendeu por uns duzentos anos. Quando analisamos a história da ciência, percebemos que não existe uma revolução súbita, ou seja, uma mudança de pensamento da noite para o dia.

³⁴ Na verdade, Galileu não observou os anéis como hoje conhecemos, e sim “orelhas” que apareciam em algumas épocas. Hoje associamos essas observações como as primeiras evidências dos anéis de Saturno.

³⁵ Costumamos nos referir às “luas” de Júpiter, ou qualquer outro planeta, mas lembramos que Lua é o nome dado ao nosso satélite natural. Os satélites dos outros planetas também foram batizados. Júpiter, por exemplo, possui dezenas de satélites, dos quais os maiores são *Io*, *Europa*, *Ganimedes* e *Calisto*, justamente conhecidos como “satélites de Galileu”.

parte da “natureza perfeita supraterestrre”. Não bastasse isso, Galileu estudou o sistema de Copérnico, tornando-se o principal nome responsável pela iminente aceitação desse sistema. Não sem enfrentar problemas com a igreja, é claro. Seus trabalhos formavam uma lista de heresias! Em função de suas discordâncias com a igreja de então, Galileu foi julgado pela inquisição católica e condenado a viver parte do final de sua vida em reclusão³⁶.

Mas afinal: o sistema heliocêntrico é melhor? Como podemos decidir adequadamente entre os dois sistemas?

Uma das maneiras de ver como acontece o progresso científico é através da competição entre diferentes explicações. E essas, por sua vez, não são mais associadas a uma teoria, apenas, mas a uma série de explicações e hipóteses que formam um todo explicativo maior. O sistema geocêntrico, por exemplo, caracteriza-se por um conjunto articulado de ideias mais específicas, como: a) a Terra é o centro do universo; b) o Sol gira ao redor da Terra; c) os planetas giram em círculos em torno de um ponto imaginário que gira ao redor da Terra. O conjunto dessas ideias mais específicas forma o que se conhece por *programa de pesquisa*: um conjunto de ideias e teorias relacionadas entre si, e que servem a um propósito maior. No caso de nosso exemplo, ao propósito de constituir o sistema geocêntrico.

Neste modo de ver, um programa de pesquisa passa a ser considerado como preferível apenas quando colocado frente a um outro, e apenas quando apresenta algumas características desejáveis, inexistentes nesse outro. Mas estamos fazendo aqui apenas uma primeira apresentação deste modo de ver a atividade científica, e seus elementos serão discutidos mais à frente.

A situação então estava assim: havia dois sistemas básicos em competição, e ambos tinham suas explicações para o que era observado. Galileu estava “perturbando” a tranquilidade dos geocentristas e, seja para tentar derrubá-lo ou para apoiá-lo, essa discussão já tinha se espalhado. Era uma questão de tempo para alguém pensar em formas mais categóricas de resolver a questão.

Embora Galileu defendesse o sistema copernicano, ele próprio não tinha uma teoria física consistente do funcionamento do sistema, ou seja, da *dinâmica* em relação aos seus componentes. Faltava-lhe uma teoria que produzisse não só explicações, mas também *fatos novos*. Ou seja, que conseguisse ir além da descrição. Faltava-lhe uma teoria que

³⁶ Um “perdão” oficial a Galileu, por parte da igreja, só foi concedido em 1992, pelo papa João Paulo II.

possibilitasse *predição*, que por sua vez permitisse *testar* elementos da teoria. Do contrário, por mais preciso que fosse, o sistema heliocêntrico seria apenas uma forma diferente de descrever o que era observado, e os gregos de dois mil anos atrás tinham mostrado magistralmente como é possível descrever as mesmas observações com teorias diferentes. Qual descreve a realidade? Fica a gosto do cliente?

Agora, se uma teoria consegue, além de descrever o que outra teoria descreve, prever fatos novos posteriormente constatados, isso é sinal de que tocamos a natureza em um outro nível. Pois se espera que uma explicação tão poderosa a ponto de prever fenômenos não conhecidos esteja mais próxima da natureza que procura explicar! Chamamos esta capacidade de predição de *força heurística*³⁷: não apenas a teoria explica adequadamente o problema, como também consegue prever fenômenos ainda não conhecidos, posteriormente constatados. A força heurística de uma teoria é, ainda, sua capacidade de permitir que haja uma progressão em suas explicações, ou seja, a teoria consegue explicar os fenômenos que se pretende explicar e ainda permite o crescimento dessas explicações, em outros contextos e para outros fenômenos. Voltaremos a isso adiante.

Galileu tinha bons argumentos para defender o sistema de Copérnico. A começar pela observação dos satélites de Júpiter: se existem “luas” orbitando outros planetas, então a Terra não é tão especial a esse respeito, ou seja, não somos necessariamente o centro. Galileu mostrou ainda que as fases de Vênus eram adequadamente explicadas como resultado de sua translação em torno do Sol. Se ao menos Vênus orbitava o Sol, então o sistema geocêntrico já tinha um sério problema, ao afirmar que todos os planetas giram em torno da Terra. Galileu argumentou que as fases de Vênus não podiam ser totalmente explicadas pelo geocentrismo. Ademais, como Galileu estudou os movimentos de uma forma geral, chegando inclusive muito próximo da noção de inércia (primeira Lei de Newton), ele pôde “retrucar” os argumentos geocentristas a respeito de uma Terra em movimento: os corpos não “sentiriam” o movimento da Terra pois estariam, de alguma forma, acompanhando seu movimento. Pela primeira vez o geocentrismo estava ficando sem argumentos.

Contudo, ainda faltava, ao heliocentrismo, força heurística. E esta característica desejável a uma teoria, ou a um programa de pesquisa, seria

³⁷ Pedimos que você pesquise em um dicionário os significados da palavra “Heurística”!

alcançada pelas mãos de Isaac Newton (1643 – 1727), apenas uma geração depois de Galileu. Newton conseguiu elaborar uma teoria que lidava com a dinâmica do sistema heliocêntrico, ou seja, lidava com as forças que *causam* os movimentos conhecidos. E, para a alegria de seu criador, sua teoria conseguia prever matematicamente as trajetórias dos planetas!

Era a famosa Teoria da Gravitação Universal, que acumularia um conjunto fantástico de *evidências* pelos próximos duzentos anos, com explicações e previsões tão precisas que muitos achavam ser a verdade final em relação ao sistema solar. Importante mencionar que a Gravitação universal newtoniana não se aplica apenas ao estudo do sistema solar, mas forma um conjunto de explicações (*programa de pesquisa*, lembra?) aplicável às mais diferentes situações físicas, e que tornou possível uma vasta gama de feitos científicos e tecnológicos: do lançamento de satélites espaciais e sondas interplanetárias, até a viagem do homem à Lua!

Um problema que existia por volta dessa época era a questão da trajetória dos corpos celestes: eles giram em círculos perfeitos? Este era um princípio que persistia desde Platão e os antigos gregos. Antes que Newton chegasse com sua Teoria da Gravitação, o astrônomo Johannes Kepler (1571 – 1630) estava trabalhando com várias tabelas contendo os resultados de anos de observação de um outro astrônomo e um dos maiores observadores astronômicos que já existiram, Tycho Brahe (1546 – 1601), tentando chegar a um sistema o mais preciso possível para explicar os movimentos descritos nas tabelas. Para se ter uma ideia de como a questão de “quem gira em torno de quem” ainda estava viva, Brahe supunha que a Terra era o centro do universo. Mas Kepler, também um grande matemático, fez um uso melhor dos dados obtidos por anos a fio por Brahe. Após muito trabalho matemático, com muitas e muitas tentativas, Kepler se convenceu de que os planetas não giravam em círculos, mas em elipses, com o Sol ocupando um de seus focos (ver figura 1)!

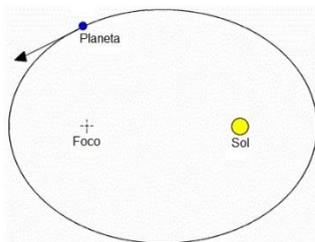
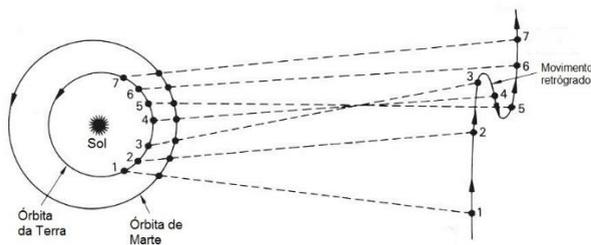


Figura 1 – Kepler propôs que os planetas se movimentam em torno do Sol em trajetórias elípticas, com ele ocupando um dos focos. Na figura, a elipse está com uma excentricidade, um “achatamento”, bastante exagerada, para melhor visualização. Adaptado de <http://en.wikibooks.org>

Embora fossem elipses muito próximas a um círculo, para Kepler os dados de Brahe não deixavam dúvidas de que as órbitas tinham certa excentricidade, ou seja, eram elípticas. Kepler se tornou, por isso, um importante nome associado à Gravitação, uma vez que aperfeiçoou consideravelmente o heliocentrismo. Por exemplo, Kepler conseguiu excelentes resultados na explicação da trajetória do planeta Marte, o que Copérnico não conseguiu satisfatoriamente. Kepler tinha um sistema “limpo”, que não precisava dos complicados movimentos de epiciclos e muitos outros para explicar os movimentos conhecidos até então. Esses aperfeiçoamentos permitiram, pela primeira vez, previsões matemáticas para as órbitas planetárias tão precisas quanto as observações, à época.

E o movimento retrógrado? Claro, o heliocentrismo agora levado ao grau máximo de precisão, precisava explicar adequadamente esse fenômeno, conhecido desde lá atrás, pelos antigos gregos. O movimento retrógrado podia agora facilmente ser explicado como resultado das diferentes velocidades de translação dos planetas em torno do Sol, conforme as conclusões de Kepler³⁸! Isso causava naturalmente o aparente retrocesso, conforme a figura 2.



³⁸ Copérnico já tinha dado essa explicação para o movimento retrógrado, mas no contexto do movimento circular uniforme. Com Kepler essa explicação chega ao grau máximo de precisão, a partir das leis quantitativas para as velocidades dos planetas em sua órbita.

Figura 2 – O movimento retrógrado segundo o sistema heliocêntrico

Como se vê na figura, a maior velocidade de translação da Terra em relação à velocidade de Marte, por exemplo, faz com que, em determinadas épocas, esse planeta seja ultrapassado. Como resultado, Marte é visto em relação ao fundo de estrelas fixas nas posições indicadas pelos números de 1 a 7: de 1 a 3, enquanto a Terra ainda não ultrapassou Marte, este planeta é visto em seu curso habitual; de 3 a 5, quando a Terra está ultrapassando Marte, esse é visto executando uma trajetória retrógrada, ou seja, no sentido oposto ao que estava; de 5 a 7, após a Terra ter ultrapassado Marte, esse passa a ser visto novamente em seu sentido inicial. O “S” do movimento retrógrado apresentado é apenas uma representação gráfica para facilitar a visualização do movimento de “vai e vem”.

Adaptado de <http://history.nasa.gov>

Mas, ainda, persistia a questão: estamos “apenas” com mais uma simples descrição do que é observado?

Segundo a teoria de Newton, os planetas (na verdade todos os objetos) se atraem com uma força proporcional às suas massas, e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Essa lei de atração é quantitativa, ou seja, sabemos exatamente como se dará a atração entre dois corpos, se soubermos suas massas e a distância entre eles. Então, ao tomarmos este princípio, a gravidade, como válido, podemos descobrir novos elementos, como veremos na sequência. Primeiro, aplicando essa lei aos corpos celestes, ou seja, determinando como seria a trajetória dos planetas caso sofressem uma força de atração segundo à sua lei, Newton descobriu que a trajetória seria justamente uma elipse, conforme tinha proposto Kepler! Ou seja, sua teoria tinha conseguido “prever” um movimento. Colocamos o prever entre aspas, porque, se Kepler já tinha proposto isso, então é claro que não foi uma predição genuína. Mas a questão é que Newton mostrou que, se os planetas se comportam segundo sua teoria da Gravitação, então suas trajetórias têm que ser elípticas³⁹! Isso era uma boa demonstração de sua *força heurística*!

³⁹ Na verdade, a previsão matemática newtoniana é ligeiramente diferente da elipse kepleriana, devido a detalhes importantes das leis de Newton. Kepler assumia o Sol como estando fixo em um dos focos da elipse, enquanto, pela terceira lei de Newton, existe uma ação mútua entre os corpos (Sol e planetas) que faz com que o centro atrator nunca esteja propriamente parado, resultando em uma órbita mais refinada. Mas o importante, aqui para nós, é que as órbitas calculadas com a mecânica newtoniana sugeriam que a primeira lei de Kepler,

É importante mencionar que Newton chegou em sua teoria da Gravitação depois de muito estudar diversos cientistas antes dele, como o próprio Galileu e também Descartes, um importante filósofo e cientista que, à semelhança de Galileu, foi um precursor de algumas de suas ideias. Descartes⁴⁰ também estudou a Gravitação, chegando em explicações para a gravidade que fizeram Newton pensar a respeito. A imagem bastante difundida, de um Newton chegando à Gravitação universal a partir da queda de uma maçã, não passa de uma anedota, uma lenda que ofusca o imenso e longo trabalho para se chegar à Gravitação.

Para continuarmos, precisamos entrar um pouco mais a fundo na Natureza da Ciência. Aquilo que consideramos válido em uma teoria, aquilo que não estamos dispostos a duvidar por enquanto, é o que podemos chamar de *núcleo firme*. Assim, o núcleo firme da Gravitação universal de Newton é justamente a força de atração gravitacional, ou seja, se vamos usá-la, é porque não estaremos duvidando de sua validade. Naturalmente, não duvidamos por poucos e bons motivos: isso está funcionando, a gravidade está explicando adequadamente o que observamos. Logo, não há razões para inicialmente duvidarmos de sua veracidade, até que surja alguma *anomalia*, até que observemos algum dado discordante com o que a teoria prevê. E, mesmo quando surge uma anomalia, o que se procura fazer é alguma proteção do núcleo firme, ou seja, procuramos explicações que não descartem de imediato o “coração da teoria”, o núcleo firme. As hipóteses que formulamos, para tentar explicar uma discordância entre o que é observado e o que a teoria prevê, formam o *cinturão protetor*. Isto permite que a teoria sobreviva pelo tempo necessário, até mostrar suas potencialidades (ou se mostrar efetivamente errada!). De fato, se descartássemos prontamente as teorias que demonstram anomalias, então boa parte de nossas teorias não existiria, uma vez que todas elas passaram por crises deste tipo. Pedimos que você releia com muita atenção esse parágrafo!

Por exemplo, no séc. XIX era conhecida uma discordância, entre as previsões da Gravitação newtoniana para a órbita do planeta Urano, e o que era observado. A teoria, que já tinha mostrado o seu poder na descrição precisa dos movimentos da Lua e dos planetas próximos,

que afirma que as órbitas dos planetas são elípticas, estava bastante próxima do esperado com a nova física de Newton.

⁴⁰ É interessante mencionar que Descartes ficou bastante impressionado com a condenação de Galileu pela inquisição, chegando mesmo a deixar de publicar um de seus livros, com medo de ter o mesmo fim. Descartes também aceitava o movimento da Terra em torno do Sol, naturalmente.

indicava uma trajetória para Urano que era sensivelmente diferente daquela efetivamente observada. Mas os cientistas não consideraram que a mecânica newtoniana estivesse errada. Como, segundo a Gravitação, os corpos exercem forças entre si, uma possibilidade seria a existência de um outro corpo celeste que estivesse perturbando gravitacionalmente a trajetória de Urano. Ou seja, uma hipótese ad hoc, lembra? Como já mencionamos, não há problemas em se formular uma hipótese ad hoc, e sim na impossibilidade de testá-la. Pois daí estaríamos apenas ajustando a teoria, sem maiores garantias de veracidade. Mas se a hipótese puder ser testada, temos então elementos extras de decisão!

De fato, foi o que foi feito entre 1845 e o ano seguinte, quando dois pesquisadores, John Adams e Urbain Le Verrier, propuseram que a referida anomalia podia ser resultado de um outro planeta, nunca antes observado. Esta hipótese permitiu que eles calculassem qual deveria ser a trajetória deste suposto planeta para, a partir de sua influência gravitacional, causar a diferença na órbita de Urano. Ou seja, a anomalia na verdade seria devida ao desconhecimento da existência do planeta hipotético: uma vez computada sua influência sobre Urano, a anomalia simplesmente deixaria de existir!

Sem alterar o núcleo firme da teoria, esta suposição resolveria o problema, com um pequeno e decisivo detalhe: afinal este hipotético planeta existe? Pois caso contrário, teremos apenas ajustado a teoria, como os antigos gregos. Mas o planeta estava lá (na verdade ainda está)! Em 1846, o astrônomo Johann Gottfried Galle encontrou o planeta, na região em que Le Verrier o informou que estaria. A previsão e posterior descoberta do planeta Netuno foi, deste modo, uma incrível demonstração da força heurística da teoria da Gravitação, uma grande vitória para essa teoria. Podemos então dizer que a teoria da Gravitação foi “provada”? Vamos pensar um pouco nessa questão.

Uma maneira de julgar uma teoria científica é avaliar se ela é falseável, ou seja, se oferece maneiras de ser testada, de ser falseada. Assim, se digo que todos os seus colegas na classe usam caneta azul para escrever, essa afirmação é científica na medida em que pode ser testada (neste caso facilmente). A afirmação estará falseada se observarmos que ao menos um colega não usa caneta azul. Mas imagine que verificamos as canetas de apenas alguns de seus colegas e, até este momento, verificamos que todas são azuis. Podemos afirmar, somente com as constatações até o momento, que efetivamente todas as canetas da classe são azuis? Parece claro que não! Mas se descobrirmos que todas realmente são azuis e que, por algum motivo, cada classe examinada demonstra o mesmo padrão? E que as próximas escolas examinadas

também demonstram o mesmo? Talvez, ao verificar a próxima caneta, já afirmes com certa convicção: será azul! E, ao constatar isso, o que temos? Uma prova de que todas as canetas de todas as escolas são azuis? Afinal, quantas canetas devemos observar para afirmar que todas são azuis? A cada nova caneta azul, portanto, temos uma confirmação, uma *corroboração*, da hipótese “todas as canetas são azuis”. Isso não é, portanto, uma prova de que todas realmente são azuis: percebemos que essa hipótese terá problemas assim que a primeira caneta preta, ou vermelha, ou de outra cor aparecer.

Se realmente confirmamos uma predição, como a existência de Netuno, então isso não será um prova definitiva. Isso será tão só (o que é muito!) uma *corroboração*, ou seja, um dado confirmante para a teoria. Deste modo, jamais poderemos falar em provas categóricas. Mas apenas em provas circunstanciais, ou seja, evidências que nos trazem certa dose de confiança na teoria. Mas, se por um lado uma teoria não pode nunca ser indiscutivelmente provada, por outro lado uma refutação contundente pode destruí-la⁴¹!

É bom enfatizar que esses são (bons) princípios heurísticos, mas que na prática temos complexidades que precisam ser analisadas com discernimento e cuidado. Sempre é possível trazer uma teoria “de volta dos mortos”. Tudo é uma questão de circunstâncias. Mas, de modo geral, boas teorias devem ser corroboradas e resistir à refutação. O que seria o análogo de que uma teoria (ou programa de pesquisa, lembra?) deve ter *força heurística*. Enquanto a teoria estiver nessa condição, dizemos que ela é *progressiva*. Uma teoria progressiva é justamente o que se deseja na ciência. Que não só explique os fenômenos conhecidos, mas também permita a descoberta de novos. Repetimos, pois pode ter passado despercebido: que também permita a *descoberta* de novos fenômenos. Ou seja, uma teoria progressiva deve prever dados novos, e estes *devem* ser corroborados. É claro que de nada adianta uma teoria prever um cem número de fenômenos, se nenhum deles puder ser confirmado!

Mas é natural supor que uma teoria, por mais sucesso explicativo e preditivo que tenha apresentado, possa chegar a um momento onde não consiga manter tal progressão, entrando em uma fase de *degenerescência*, quando seu cinturão protetor não consegue mais preservar o núcleo firme, devido ao acúmulo de hipóteses ad hoc não posteriormente confirmadas (sim, você já sabe: releia esse parágrafo!). E nem mesmo a Teoria da

⁴¹ Mas nunca de forma instantânea! Por mais duro que seja o “golpe”, sempre leva um tempo até que os cientistas se decidam por uma ou outra teoria.

Gravitação de Newton poderia escapar disso! É o que discutiremos em nosso próximo encontro.

Atividades de compreensão

1. Formulem uma breve explicação do termo “força heurística” (se vocês leram o texto com atenção, já devem ter feito isso!).
2. Para vocês, as explicações científicas são as únicas em relação à natureza? Se não são, então o que elas têm de diferente que as caracterizam como “científicas”?
3. Na visão de vocês, por que um mesmo fenômeno pode fazer com que os cientistas cheguem a diferentes explicações? Para vocês isso é normal?
4. Pelo que vocês leram no texto, qual a diferença entre *prova* e *corroboração*?
5. Expliquem, com suas palavras, parte do último parágrafo do texto 2, transcrito abaixo:

É natural supor que uma teoria, por mais sucesso explicativo e preditivo que tenha apresentado, possa chegar a um momento onde não consegue manter tal progressão, entrando em uma fase de degenerescência, ou seja, quando seu cinturão protetor não consegue mais preservar o núcleo firme, devido ao acúmulo de hipóteses ad-hoc não posteriormente confirmadas.

Texto 3 - A gravidade revisitada

A Teoria da Gravitação Universal tinha mostrado a que veio ao predizer a existência de um novo planeta. Sua *força heurística* fez com que se tornasse o modelo padrão das explicações celestes, e a esta altura o geocentrismo estava sendo enterrado bem fundo. Se nos séculos XVIII e XIX algum astrônomo fosse questionado sobre a veracidade da teoria da Gravitação de Newton, é muito provável que ele sorrisse ao questionador, e nem se desse ao trabalho de responder. A confiança na teoria era total. O que mais podemos exigir? Seus resultados batiam maravilhosamente bem com o que era observado, além de permitir previsões igualmente precisas.

Mas, ao passar dos anos, com novas e mais precisas observações, os astrônomos descobriram que, do mesmo modo como tinha acontecido com o planeta Urano, o planeta Mercúrio estava apresentando uma trajetória levemente diferente daquela prevista usando a Gravitação newtoniana. É claro que o mais natural seria supor que, também à semelhança do planeta Urano, esta anomalia fosse devida a um outro corpo celeste, não devidamente computado, que estaria perturbando gravitacionalmente Mercúrio. Chegaram mesmo a batizar este novo planeta: Vulcano (que mais tarde seria utilizado por Hollywood, na série Jornada nas Estrelas). Ou seja, o cinturão protetor estava trabalhando, ao preservar a teoria da Gravitação, exatamente como aconteceu no caso do planeta Urano. Mas, como discutimos, para que a teoria continue se mostrando progressiva, essa hipótese (a existência de Vulcano) precisa ser devidamente confirmada. Onde está esse planeta?

Por acaso você se lembra de algum planeta nas proximidades de Mercúrio, além de Vênus? Pois é. Vulcano aparentemente não existe⁴²!

⁴² Aqui temos um ponto interessante: será possível confirmarmos a inexistência de algo? A resposta é sim! Ao menos, em um sentido de corroboração. Em geral, diz-se que não podemos demonstrar a inexistência de algo, mas isso quando enunciado de forma abrangente: realmente não se pode, logicamente, demonstrar a inexistência de planetas com vida além da Terra, por exemplo. Isso é apenas uma maneira diferente de dizer que não conseguimos faltar essa hipótese, de que estes planetas não existem. Mas podemos demonstrar a inexistência de algo quando colocado dentro de limites bem definidos: é fácil confirmar a inexistência de uma girafa em seu banheiro (ou atrás da porta de sua sala de aula) neste momento. Viu? Ela simplesmente não está lá (espero!). O mesmo ocorre com

Esta anomalia perturbou os cientistas do final do século XIX, ainda mais quando Vulcano não foi encontrado. E agora? Conforme comentamos anteriormente, uma teoria só é substituída se houver uma outra mais progressiva. E, até este momento, essa teoria não existia. Logo, é natural que a Gravitação universal tenha continuado a ser a explicação padrão para o sistema solar. Mas aqueles astrônomos de antes, que responderiam com um sorriso ao questionamento sobre a veracidade da Gravitação newtoniana, estariam mais reticentes agora. Nesta época, teriam que esperar até que um menino nascido em 1879 completasse uns 35 anos, para resolver o problema.

Quando Albert Einstein (1879 – 1955) terminou sua graduação no Instituto Politécnico de Zurique em 1900, não conseguiu rapidamente um cargo acadêmico, como queria, e não publicou nada significativo nos anos seguintes. Teve que aceitar um emprego burocrático em um escritório de patentes e, como ele mesmo mais tarde comentaria, foi o melhor que lhe podia acontecer. Ali, analisando pedidos de registro de patentes, teve tempo suficiente para pensar nos problemas físicos que lhe interessava e, em 1905, estes pensamentos resultaram em cinco artigos que mudariam sua vida em poucos anos. Um destes artigos versava sobre a “eletrodinâmica dos corpos em movimento”, que em seguida seria batizada como relatividade restrita. Esta teoria postulava que a velocidade da luz era constante, independentemente do referencial, e que as leis da física eram as mesmas para todos os referenciais inerciais (que se movem uns em relação aos outros com velocidade constante). Ou seja, se você está em um veículo com velocidade constante em relação a um referencial qualquer, segundo um dos postulados da relatividade restrita todos os fenômenos físicos devem ocorrer do mesmo modo, seja para você ou para quem está naquele referencial.

Percebendo rapidamente a restrição desta teoria (por isso relatividade *restrita*), uma vez que só se aplicava para sistemas que se movem relativamente a velocidades constantes, Einstein passou os dez anos seguintes em busca de uma generalização que permitisse estudar também sistemas acelerados. Temos assim a Relatividade Geral, que, uma vez finalizada em 1915, iria produzir pela primeira vez na história um cientista “pop star”. Entre outros, esta teoria lidava com um espaço geométrico, que se deforma com a presença de massa. Esta deformação está diretamente associada ao que conhecemos como gravidade, e por isso a Relatividade Geral é a teoria einsteiniana da Gravitação! Os propósitos

Vulcano: sabíamos onde procurar, e nenhum planeta foi encontrado. O que, mais uma vez, não deixa de ser uma refutação: algo foi previsto e não confirmado.

iniciais de Einstein giravam em torno de inconsistências entre dois grandes campos da física, o eletromagnetismo e a mecânica newtoniana, que não iremos aqui analisar. Mas ao generalizar sua teoria, Einstein teve alguns lampejos que mudariam sua vida, e mudariam os rumos da ciência!

Em 1907 Einstein ainda trabalhava no escritório de patentes, quando teve uma ideia. Conforme o próprio Einstein: “quando uma pessoa se acha em queda livre, não sente o próprio peso. Eu estava impressionado. Esse simples experimento intelectual causou-me uma impressão profunda. E me levou à teoria da Gravitação”. Ou seja, como uma pessoa em queda livre está acelerada de acordo com a gravidade local, ela deixa de sentir diretamente a força da gravidade, já que essa força só é sentida quando temos algo que impeça a aceleração gravitacional, como o chão, por exemplo (pense um pouco a respeito). Isso levou Einstein a formular seu *princípio da equivalência*, ou seja, “se a aceleração pode cancelar a gravidade e produzir a ausência de peso, então a aceleração em si, na ausência de gravidade, pode simular a gravidade, indistinguível da gravidade do planeta”.

Vamos com calma! Como assim? Primeiro, imagine uma situação onde um móvel, uma nave, por exemplo, esteja longe de um campo gravitacional. Os objetos em seu interior estarão livres da influência de forças gravitacionais dos planetas, logo estarão “flutuando” (o mais correto seria dizer “mantendo o seu estado de movimento uniforme ou de repouso”, segundo a primeira lei de Newton). Mas imagine que essa nave comece a acelerar. O que acontecerá com os objetos em seu interior? Eles serão “comprimidos” contra o fundo da nave (em relação ao seu movimento), “sentindo” constantemente uma força (ver figura 1).

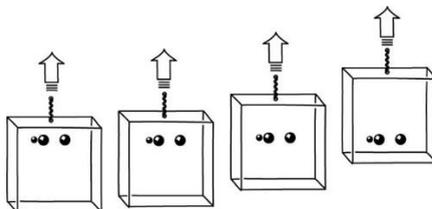


Figura 1 – Objetos no interior de um móvel acelerado

Se um móvel acelera para cima, então os objetos em seu interior “caem” para o fundo, do mesmo modo que se estivessem sujeitos a uma força gravitacional.

Fonte: adaptado de <http://www.pitt.edu/~jdnorton>

É exatamente o que ocorre quando você está sentado no assento do carro, e esse começa a acelerar: você é pressionado contra o encosto do assento (embora o mais correto seja dizer que o encosto do assento é que está pressionando suas costas: você apenas está mantendo o seu estado de movimento, enquanto o carro o está obrigando a mudar esse estado). Até aqui nada demais, você aprendeu isso nas aulas de dinâmica. Mas se imaginarmos que a nave está se movimentando com uma aceleração igual à da gravidade terrestre, então os objetos no seu interior “sentirão” como se estivessem sujeitos à gravidade (ver figura 2)! Isso significa que essas situações são equivalentes, ou seja, em ambas tudo deve ocorrer do mesmo modo. Daí o princípio da “equivalência”.

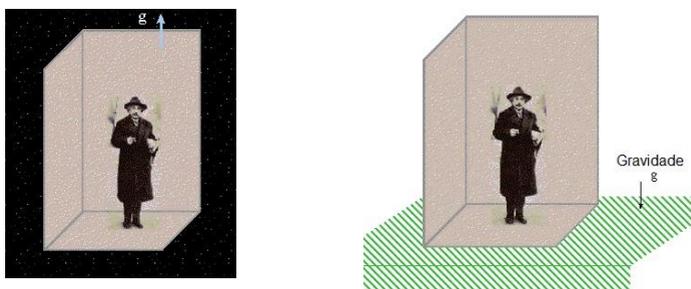


Figura 2 – O princípio da equivalência

O tio Alberto sente a mesma coisa, estando em um móvel longe de qualquer campo gravitacional, porém acelerado igual à g , ou estando “parado” na superfície terrestre.

Adaptado de <http://www.astro.cornell.edu>

Importante mencionar que, segundo Einstein, isto não significa apenas que sentiremos o mesmo tipo de “compressão” gravitacional, ou seja, apenas a sensação de ser puxado para o chão. Todos os fenômenos físicos se darão do mesmo modo, estando em uma ou outra situação (ver figura 3)!

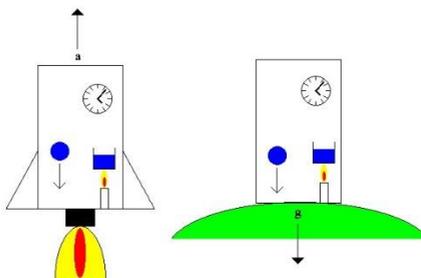


Figura 3 – O princípio da equivalência, novamente

Todos os fenômenos físicos se dão da mesma maneira, seja na superfície terrestre ou em uma nave com a mesma aceleração da gravidade terrestre.

Adaptado de <http://ion.uwinnipeg.ca/~vincent>

Para começarmos a falar sobre as origens da gravidade, segundo a teoria de Einstein, falta um pequeno e decisivo complemento: se emitirmos um feixe de fótons (luz!) de uma parede a outra de nossa nave acelerada, o que ocorre? Enquanto os fótons se dirigem em direção à outra parede, a nave continua acelerando e, mesmo a velocidade do feixe de luz sendo absurdamente alta ($3 \cdot 10^8$ m/s) em relação à velocidade da nave, é o que basta para que ele não atinja o outro lado exatamente na mesma altura de onde saiu. Isso significa que o feixe de luz é curvado (ver figura 4)! Na verdade, isso não era para ser muito surpreendente, afinal é o que ocorre quando também se joga uma bola, por exemplo. Mas a bola arremessada apresenta uma curvatura muito maior, devido à velocidade de lançamento não ser tão alta quando a da luz. No caso da luz, é claro que esta curvatura deveria ser muito menor, devido à sua velocidade altíssima.

Mas se a luz se curva na nave acelerada e, pelo princípio da equivalência, nessa nave tudo acontece da mesma maneira que se estivesse parada na superfície da Terra, então a luz deve ser curvada pela gravidade! No espaço “vazio”, longe de qualquer corpo celeste, um feixe de luz se propaga de forma retilínea, naturalmente. Mas se a luz passa perto de um corpo celeste, ela será curvada, devido à gravidade desse corpo. Isso implica em que o espaço vazio é “plano”, e a luz se propaga nele de forma retilínea, e o espaço nas proximidades dos corpos é “curvo”, e a luz se curva ao se propagar por ele! Na verdade este é um grande complicador que não temos como aprofundar aqui: Einstein mostrou que

a luz, ao ser a maior velocidade possível para qualquer coisa⁴³, só pode se curvar se o espaço por onde se propaga assim o fizer. Esta é uma das essências da Relatividade Geral, e suas entranhas matemáticas são tão complicadas que, na época em que Einstein estava pensando nela, poucos cientistas conseguiam acompanhá-lo! Por isso, é claro que nossa discussão aqui se limita aos aspectos mais qualitativos de sua teoria, mas que permitem uma ilustração adequada da essência da Gravitação de Einstein.

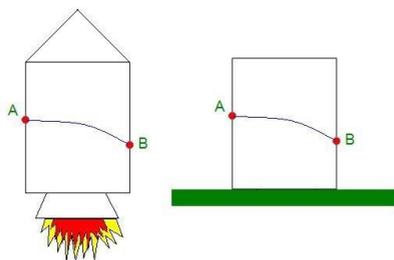


Figura 4 – O princípio da equivalência (é, novamente)

O movimento acelerado do foguete faz com que o feixe de luz, ao sair de A, “fique para trás”, chegando do outro lado do foguete em um ponto mais abaixo, B. Pelo princípio da equivalência, o mesmo deve ocorrer em um campo gravitacional.

Fonte:

<http://ibphysicsstuff.wikidot.com/general-relativity>

Einstein tinha então conseguido produzir uma teoria da Gravitação distinta da de Newton. A Gravitação universal de Newton se baseia na força de atração entre os corpos, a conhecida força gravitacional. Essa força, segundo Newton, atua instantaneamente entre os corpos celestes (entre todos os objetos), independentemente da distância entre eles. Ou seja, segundo a Gravitação newtoniana, se o Sol deixasse de existir em um certo instante, por exemplo, os planetas imediatamente “sairiam pela tangente”, deixariam de “sentir” a gravidade do Sol instantaneamente.

Mas Einstein, com sua nova maneira de ver a gravidade, sugeria algo diferente: os corpos não são propriamente atraídos por uma força que

⁴³ É a maior velocidade em limite, ou seja, seu valor não pode nunca ser atingido. A não ser para a luz.

atua à distância, mas sim devido à curvatura do espaço (ver figura 5)! E, como nada pode ser mais rápido do que a luz, essa curvatura também leva um tempo para “comunicar” a gravidade entre os planetas (na verdade Einstein mostrou que essa “velocidade da gravidade” deveria ser a mesma da velocidade da luz!). Deste modo, na mesma situação do desaparecimento do Sol descrita acima, os planetas não sairiam imediatamente pela tangente, pois o resultado do desaparecimento do Sol precisaria chegar até os planetas, o que leva um tempo (no caso da Terra, pouco mais de oito minutos). Essa “velocidade” da gravidade é justamente devida à deformação do espaço produzida pelo Sol, que precisa chegar até os planetas como ondas produzidas por uma pedra jogada em um lago. Era uma teoria distinta da de Newton, com uma forma bem diferente de ver a gravidade. Só faltava então... testá-la.

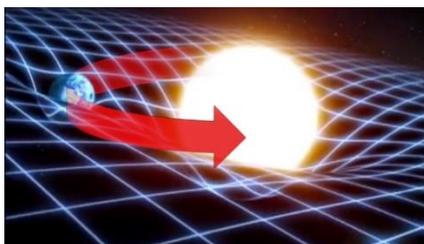


Figura 5: A curvatura do espaço

Para Einstein, a Gravitação é resultado da curvatura do espaço produzida pelos corpos. No caso do Sol, os planetas não “sentem” uma força instantânea a distância, mas apenas acompanham essa curvatura em seu movimento de translação. Na figura, a curvatura do espaço é indicada pela malha quadriculada, enquanto a seta indica a trajetória seguida pelo planeta devido à curvatura.

Fonte: <http://www.cosmotography.com/>

Um primeiro sucesso desta teoria de Einstein foi resolver o problema com a órbita de Mercúrio. Como vimos, a Gravitação newtoniana produzia valores discordantes com o observado, e Vulcano não resolveu o problema porque... não existe. Mas ao atacar o problema com a Relatividade Geral, Einstein verificou que sua teoria produzia os resultados corretos para a órbita de Mercúrio! E, claro, também fornecia

os resultados para os casos onde a Gravitação newtoniana já tinha acertado.

Mas a Relatividade Geral, a Gravitação *einsteiniana*, não pararia por aí. A correta órbita de Mercúrio foi uma demonstração inicial da força heurística da teoria, mas como já discutimos, ela previa mais que isso. Como testar sua predição da curvatura de um raio de luz por um campo gravitacional? Nenhum fenômeno terrestre ajudaria, uma vez que o campo gravitacional da Terra produziria um efeito praticamente imensurável, de tão pequeno. Mas e quanto à gravidade de algo muito mais massivo? Que tal o Sol?

Pelos princípios da ótica, ramo da física que estuda os fenômenos relacionados à luz, quando observamos uma estrela é porque sua luz está chegando aos nossos olhos, formando a imagem dessa estrela em uma posição no céu que está em uma linha reta a partir dos nossos olhos (ver figura 6). Mas Einstein tinha calculado que a luz de uma estrela distante, ao passar nas proximidades do Sol, seria desviada, produzindo uma diferença mensurável para a posição daquela estrela. Como assim? Mesmo a luz sendo curvada, o que observaríamos é uma posição que está em uma linha reta com nossos olhos, como mencionamos acima. Como resultado, a posição da estrela, em uma noite limpa, seria levemente diferente de quando a víssemos nas proximidades do Sol, em um dia ensolarado (ver figura 7).



Figura 6 – Uma estrela observada no céu – tudo o que observamos está em uma posição que forma uma linha reta com nossos olhos.

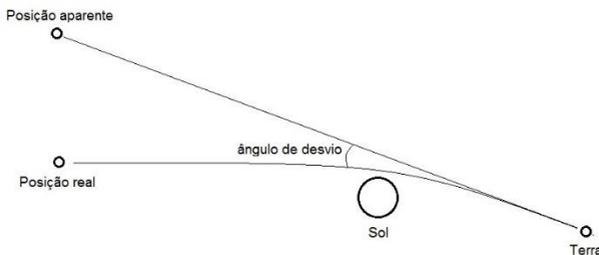


Figura 7 – Deflexão da luz de uma estrela distante ao passar nas proximidades do Sol – Pelos princípios da ótica, um raio de luz que

seja curvado produzirá uma imagem aparente em linha reta com o observador. A diferença entre as posições real e aparente ocasionará um ângulo de desvio, conforme a figura. O ângulo de desvio é ocasionado pela deflexão da luz da estrela, que passa a ser vista no céu em uma posição distinta de quando ela é vista no céu noturno, sem a presença do Sol (A figura é uma simplificação geométrica e está fora de escala para melhor visualização do fenômeno).

Mas temos um problema: quantas estrelas você já viu perto do Sol no meio do dia? Pois é. A luz do Sol espalhada pela atmosfera terrestre ofusca a luz das outras estrelas, e é por isso que não costumamos vê-las de dia. Como então medir a diferença de posição descrita acima? Sugerimos que você pense um pouco, antes de ver a resposta no próximo parágrafo.

Pronto?

Um eclipse. Vemos estrelas em um eclipse total do Sol! E Einstein calculou que a diferença de posição poderia ser medida por equipamentos aqui na Terra! Mesmo sendo um desvio muito pequeno, já em 1914 houve tentativas para medi-lo, que não foram bem sucedidas. Era a primeira guerra mundial, e Freundlich, um dos astrônomos que queria verificar o resultado de Einstein, teve sua missão frustrada ao ser confundido como espião, quando chegou ao local onde um Eclipse ocorreria. Cinco anos depois o mundo estava mais calmo, e o teste pode ser feito.

O experimento, apesar de complexo do ponto de vista técnico, era conceitualmente bastante simples: bastaria tirar uma chapa fotográfica de algumas estrelas no céu noturno, e também tirar uma chapa dessas mesmas estrelas quando vistas na proximidade do Sol, em decorrência de um eclipse. Uma vez sobrepostas, essas chapas deveriam mostrar as referidas estrelas em posições sensivelmente diferentes, caso a previsão de Einstein se confirmasse.

Para ser corroborado, o valor previsto por Einstein deveria ser observado, enquanto um valor diferente traria sérios problemas para a teoria. Mas o valor previsto foi efetivamente constatado e, quase que da noite para o dia, Einstein se tornaria um dos nomes mais pronunciados ao redor do mundo. Foi uma grande *corroboração* da teoria da Relatividade Geral, que passou a ser conhecida mundialmente como uma nova teoria da Gravitação.

É interessante que em 1914, quando da primeira tentativa para a medição da deflexão gravitacional da luz, havia um erro no valor calculado por Einstein, da ordem da metade do correto⁴⁴. Se a expedição de Freundlich lograsse êxito, o valor medido seria o dobro do previsto por Einstein, e a relatividade estaria aparentemente refutada. Estaria mesmo? Em que medida um resultado negativo refuta uma teoria? Na verdade, dificilmente uma teoria seria abandonada com base em apenas um caso negativo. Primeiro, porque as anomalias e as tentativas de resolvê-las são parte essencial da atividade científica. Mas também porque existem elementos mais sutis, muitos inclusive de cunho emocional por parte do cientista.

E, no contexto das descobertas, momento em que o cientista está pensando em suas teorias, existe um amálgama de procedimentos dificilmente enumeráveis como uma receita de bolo. Seus métodos nunca foram claros a ponto de podermos ter uma cartilha chamada “o método científico”. Mas certamente existem métodos. O que não podemos é achar que os cientistas seguem um conjunto de instruções bem definidas. A criatividade ocupa, muitas vezes, um papel central na gênese das teorias. O próprio Einstein estava ciente disso, repetindo algumas vezes o quanto a criatividade e a imaginação são essenciais ao cientista.

Como vimos, o fracasso da expedição de 1914 foi um golpe de sorte para Einstein. Isto permitiu que ele descobrisse seu erro a tempo, em 1915, e então comunicasse o valor correto do ângulo de deflexão para as equipes de astrônomos interessados na questão. Em 1919, duas equipes, uma mandada para Sobral, no nordeste brasileiro, e outra para a ilha de Príncipe, na costa da África, regiões por onde passaria a sombra do eclipse, tinham então em mãos o resultado correto para testar.

A expedição da África foi uma verdadeira provação para Arthur Eddington, um dos astrônomos que queriam corroborar a teoria de Einstein. Ele e sua equipe tiveram que transportar equipamentos pesados (e caros) por selva adentro, na ilha de Príncipe, e trabalhar sob condições bastante indesejáveis para pesquisadores acostumados ao conforto da

⁴⁴ Na verdade este valor incorreto é o que se obtém se utilizarmos a mecânica newtoniana para se determinar a deflexão gravitacional de algo que se movimenta à velocidade da luz (o que, segundo Einstein, não é possível – só a luz se propaga na “velocidade da luz”). Ou seja, mesmo com a Gravitação newtoniana é possível prever que a luz se curvará em um campo gravitacional. Mas esse valor não é o constado, ou seja, a previsão usando a mecânica newtoniana não oferece o resultado efetivamente medido. O que é mais um exemplo de sua degenerescência.

universidade. Para melhorar ainda mais os ânimos, o tempo estava bastante nublado, e mal se podia ver o Sol, quanto mais as estrelas desejadas quando do momento do eclipse. Tudo levava a crer que a expedição seria um fracasso, pois as chapas de fotografia, colocadas na ocular de um telescópio para este fim, precisavam de estrelas nítidas no céu.

A equipe no Brasil estava com melhor sorte. O céu estava limpo, e as fotografias puderam ser feitas sem maiores contratempos (ver figura 8). Os dados só mais tarde puderam ser conhecidos por Eddington (na época não tinha “WhatsApp”!), e esse, apreensivo, teve que contar com seus resultados sem saber inicialmente se o pessoal no Brasil estava em melhores condições. Sua equipe obteve algumas poucas chapas visíveis das estrelas nas proximidades do Sol eclipsado. Estas chapas só puderam ser obtidas no último momento, quando então o céu pareceu querer ajudar.

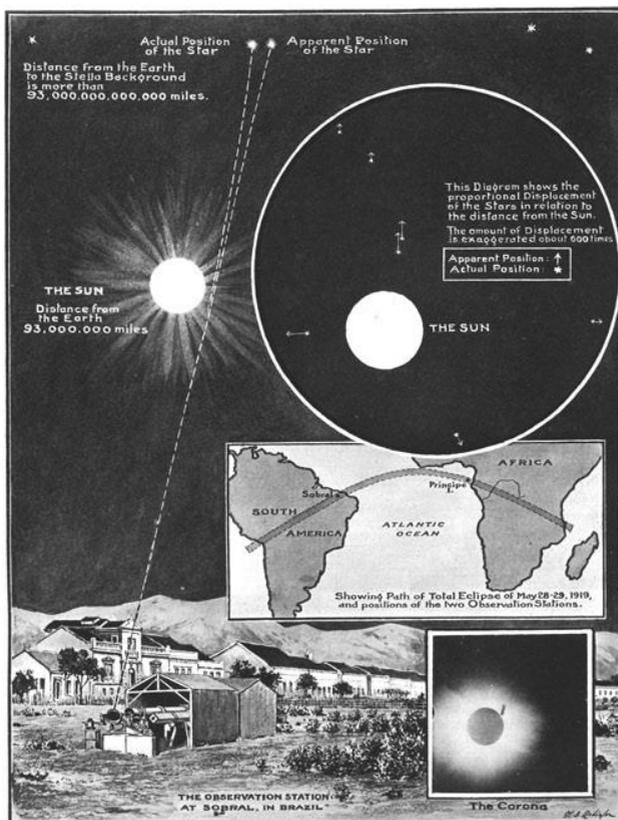


Figura 8 – A expedição em Sobral

Ilustração do jornal Illustrated London News, sobre as medições realizadas em Sobral, “in Brazil”. A figura é uma montagem (o que chamamos hoje de “infográfico”) mostrando alguns aspectos do experimento, incluindo o mapa que indica por onde passou a sombra do eclipse e uma chapa fotográfica que sugeria o desvio previsto por Einstein.

Fonte: <http://www.astro.caltech.edu/>

O resultado de Einstein estava lá, de acordo com as previsões da Relatividade Geral. Ao menos é o que garantiu Eddington. Outras pesquisas não apresentaram uma conclusão tão clara, mostrando inclusive uma grande dispersão⁴⁵ em seus resultados, mas os resultados da ilha de

⁴⁵ Dispersão, nesse caso, significa que diferentes medidas dão resultados diferentes. Isso é comum e mesmo inevitável em medições. Basta você

Príncipe (e as notícias propaladas a partir de então) foram suficientes para colocar o nome de Einstein nos maiores jornais do mundo, o que passaria a ser frequente nos anos seguintes. Afinal era a primeira vez, em quase duzentos e cinquenta anos, que um cientista era tido como o “novo Newton”. A partir daí o grande público estava muito mais interessado em presenciar os eventos onde Einstein era convidado, do que se preocupar com dispersões nas medições de astrônomos muito menos conhecidos, e que não eram tão simpáticos quanto o tio Albert⁴⁶. Ou seja, é comum que teorias sejam aceitas mesmo quando existem dados discordantes, o que mostra, por exemplo, que devemos relevar com cautela a noção de senso comum de que experimentos “provam” isso ou aquilo. A ciência possui uma dinâmica bem mais complexa, e não são resultados isolados que “decidem” as coisas, mas sim todo um contexto.

Nesse sentido, é interessante mencionar que, para alguns cientistas, o teste fundamental da Gravitação de Einstein foi propiciado pela correta órbita de Mercúrio, realizada por Einstein mesmo antes de terminar totalmente sua teoria da Relatividade Geral! Os resultados com grande dispersão das medidas da deflexão da luz acabaram dando margem a algumas resistências (sem contar o reacionarismo previsto em todo contexto de grandes mudanças), o que também deve deixar claro como o cientista é uma pessoa como as outras, com paixões que o fazem defender seus pontos de vista mesmo nos contextos onde não existe consenso.

De qualquer forma, hoje é inegável o sucesso da Relatividade Geral de Einstein, o coração do agora chamado *modelo padrão da cosmologia*, que continua demonstrando sua força heurística. Deste programa de pesquisa vieram as previsões de um universo em expansão, e da possibilidade de existência de estrelas colapsadas denominadas Buracos Negros, entre outros. Ou seja, além de explicar anomalias não devidamente acomodadas no programa anterior (newtoniano), como o caso da órbita de Mercúrio, este programa produziu um novo conjunto de previsões, um *excesso de conteúdo corroborado* que o torna uma das teorias de maior sucesso da história da ciência. Se as medições de Eddington foram postas em dúvida à época, em anos mais recentes medições bastante minuciosas e precisas, realizadas com satélites em

cronometrar o tempo de um objeto em queda, por exemplo, para perceber isso. De modo geral, em uma pesquisa científica minuciosa se deseja uma pequena dispersão, ou seja, diferentes medidas deveriam chegar em valores próximos.

⁴⁶ Einstein visitou nosso país em 1925, quando disse que suas perguntas “foram respondidas pelo ensolarado céu do Brasil”.

órbita da Terra, mostram que hoje temos uma Teoria da Gravitação altamente consistente, com grande força heurística.

Epílogo

Embora não seja possível definirmos um método científico onipotente, evidentemente isso não significa que a ciência funciona às cegas. Isto seria ir de um extremo ao outro, ambos bastante equivocados. Significa, isto sim, que não conseguimos enumerar os passos da atividade científica como um conjunto de passos infalíveis que levam necessariamente à descoberta. Mas isso não impede que tracemos esboços possíveis para alguns elementos dessa atividade, como os que discutimos aqui. A ciência é uma atividade essencialmente humana e, como tal, sujeita a complexidades várias. Mas ao conhecermos alguns aspectos dessa atividade devidamente fundamentados em episódios da evolução da ciência, conseguimos obter ao menos um quadro mais compromissado com o que se faz em ciência.

A noção comum de um cientista que busca “provar” categoricamente uma teoria por meio de “experiências” é uma visão romântica que não parece encontrar muitos fundamentos no desenvolvimento da ciência. Os instrumentos de medida e os dados obtidos com esses possuem grande importância para conhecermos o mundo ao nosso redor, mas eles ocupam um papel que precisa ser devidamente contextualizado. Em geral, o cientista já espera um determinado resultado ao realizar um experimento, cujos resultados serão utilizados basicamente para testar suas hipóteses iniciais. Basta recapitular as previsões que discutimos, da existência do planeta Netuno e do desvio da luz devido à gravidade.

Mesmo em casos onde um fenômeno ocorre de modo “inesperado”, ou seja, quando o cientista se depara de forma fortuita com uma descoberta, já existe uma pré-disposição para percebê-la, o que pode ser sintetizado na máxima de Pasteur “a sorte favorece a mente preparada”. De fato, ao longo da história da ciência não é raro alguém se deparar com um determinado fenômeno e não percebê-lo como tal, aparecendo na sequência um outro cientista e estabelecendo o “dado observacional” como parte de uma explicação. O próprio planeta Netuno é em exemplo: antes de o astrônomo Johann Galle efetivamente descobri-lo na região em que foi previsto por Adams e Le Verrier, pelo menos um

astrônomo se deparou com uma “estrela errante”⁴⁷ sem saber do que se tratava. Somente depois da hipótese de sua existência é que o dado “se encaixou” como uma descoberta. Algo semelhante ocorreu com a descoberta dos Raios-X, com a descoberta do elétron, com a descoberta das ondas eletromagnéticas, entre outros.

Em síntese, podemos dizer que *as descobertas são guiadas por teorias!* As teorias ocupam um papel central na atividade científica. Os experimentos permitem que testemos nossas hipóteses, e mesmo nos casos onde descobrimos um fenômeno não esperado, esse só se caracteriza como tal frente a uma teoria que o signifique.

Por isso os resultados de um experimento não são, por si, o que determina a aceitação das teorias (e suas previsões) pelos cientistas. Afinal sempre é possível interpretar os resultados experimentais com diferentes explicações. Deste modo, mesmo um resultado negativo pode fazer o cientista se manter em sua linha de pesquisa, e somente com o andar da carruagem a comunidade científica irá se decidir por uma ou outra explicação. E, ao longo deste processo, todas as características humanas terão seu lugar, fazendo do cientista mais um detetive sem um rumo definido do que propriamente um seguidor de uma receita infalível que leva ao sucesso explicativo.

Mas no geral, olhando para a evolução dos conceitos científicos, conseguimos perceber uma coerência notável em relação aos seus resultados. Ainda que, muitas vezes, as coisas não tenham se dado exatamente como queríamos ou achávamos, ainda assim as teorias científicas formam, em seu todo, um conjunto de conhecimento sólido, perfeitamente lógico e sensível. É o que possibilita o tipo de análise que fizemos em nossas discussões.

Nossas melhores teorias são resultado de uma evolução permeada pela disputa entre diferentes explicações, onde as mais progressivas vão suplantando as regressivas, resultando em sistemas explicativos de incrível poder heurístico. Nossa ciência, com esse contínuo processo de aperfeiçoamento, hoje possibilita previsões tão acuradas que a fazem ser a máquina mais poderosa de se construir boas explicações para a Natureza.

Atividades de compreensão

⁴⁷ Esse termo, em grego, é justamente o significado de “planeta”.

1. Expliquem, com suas palavras, o que é o *princípio da equivalência*.
2. A partir do que vocês leram, o que foi possível de perceber em relação à diferença (ou diferenças) entre a gravidade de Newton e a gravidade de Einstein? Comentem.
3. De que maneira foi testada a Gravitação einsteiniana?
4. Usando os conhecimentos discutidos até aqui em relação à atividade científica, comentem por que a Gravitação einsteiniana é considerada superior à Gravitação newtoniana.

Para saber mais:

CHALMERS, A. F. **O que é ciência, afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

GRIBBIN, John R. **No início: antes e depois do Big Bang.** Rio de Janeiro: Campus, 1995.

MacFARLANE, Seth; ANN, Druyan; BRAGA, Brannon; TYSON, N. de Grasse. **COSMOS: A Spacetime Odyssey.** Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic Channel, Fuzzy Door Productions, 2014.

MARTINS, Roberto de Andrade. **O universo: teorias sobre sua origem e evolução.** Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.ghc.usp.br/Universo/index.html>. Acesso em: 20 de abril de 2014.

MOSLEY, Michael J. **The Story Of Science: episódio 1, “O que há lá fora”.** [Filme-vídeo]. BBC, British Broadcasting Corporation, 2010.

PESSOA Jr., Osvaldo (org.) **A Ciência Grega.** Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.cfh.ufsc.br/~wfil/cienciagrega.htm>. Acesso em: 20 de abril de 2014.

PORTO, C. M.; PORTO, M. B. **A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 4, 2008.

SOUZA O. F., Kepler; SARAIVA, Maria de Fátima O. **Astronomia e Astrofísica**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://astro.if.ufrgs.br/index.htm>. Acesso em: 20 de abril de 2014.

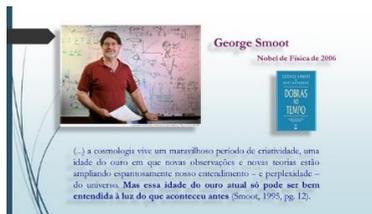
SMOOT, George F.; DAVIDSON, K. **Dobras no tempo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1995.

VIDEIRA, Antônio A. P. **Einstein e o Eclipse de 1919**. Física na Escola, V. 6, n. 1, 2005.

WAGA, I. **Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o século XXI**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 1, pg. 157-173, mar. 2005.

Apêndice D – As apresentações eletrônicas

Slides 1 – Um despertar na Grécia⁴⁸

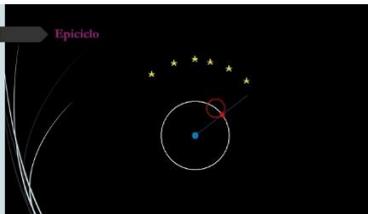


⁴⁸ As apresentações eletrônicas completas, com os vídeos e animações, estão disponíveis em <http://luizarthury.wix.com/isaque-alberto>.



Epiciclo

Tentativa de explicar os "saltos" do movimento retrógrado



Ptolomeu

Aperfeiçoa as teorias anteriores, tornando-as o representante máximo da geocentrismo

"Salvar os fenômenos" → **Hipóteses "ad-hoc"**



Nikolaj Koppernigk

(1473-1543)

De Revolutionibus Orbium Coelestium, publicado em 1543:

O Sol está no centro dos movimentos dos planetas

A Terra é o centro do movimento da Lua, apenas

O movimento do Sol, e das estrelas fixas no céu noturno, são aparentes, sendo na verdade resultado dos movimentos da Terra

A distância da Terra ao Sol é muito pequena em relação à distância da Terra às estrelas fixas



Slides 2 – A Supremacia da Gravidade

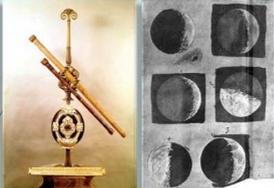
A supremacia da Gravidade



Galileu Galilei




(1564-1642)



Os satélites de Júpiter

As fases de Vênus




Teorias científicas: Programas de Pesquisa

O Sol ou a Terra ocupa o centro do sistema?

Os planetas giram em círculos ao seu redor, ou que gira em círculos ao redor do Sol ou da Terra é o centro do epíciclo?

As órbitas são circulares, ou executam um outro tipo de movimento?

Como escolher entre dois programas de pesquisa?



Geocêntrico
X
Heliocêntrico



Força Heurística

Isaac Newton



(1643-1727)

Gravitação Universal



Johannes Kepler (1571-1630)




Tycho Brahe (1546-1601)



➤ **Órbitas elípticas!**

➤ **Velocidades não uniformes**

➤ **O movimento retrógrado**

➤ **Mas e a Força Heurística?**

Gravitação Universal

1687

➤ **A Gravitação Newtoniana**

➤ **A Gravitação Newtoniana**

➤ **A Gravitação Newtoniana**

$$F = G \frac{M \cdot m}{d^2}$$

"Previsão" de órbitas elípticas!

Demonstração de Força Heurística... e mais...

➤ **O problema com a órbita de Urano**

Anomalia

Núcleo firme

Cinturão Protetor

Hipótese Ad-Hoc

Johann Gottfried Galle 1846

John Adams & Urbain Le Verrier

Gravitação Newtoniana: Teoria Progressiva!

Força Heurística

➤ **A descoberta do planeta Netuno "prova" a Teoria da Gravitação?**

PROVA Corroboração

Uma teoria pode ser falseada, mas não definitivamente "provada"

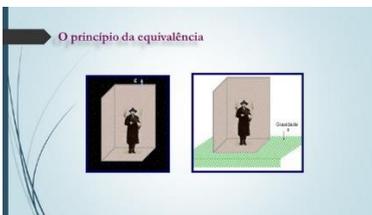
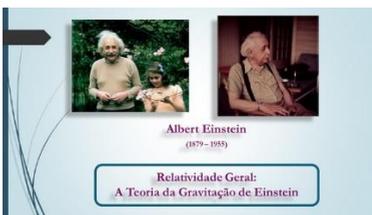
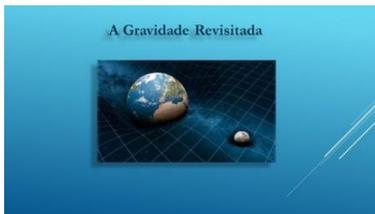
Boas teorias devem resistir à refutação e, consequentemente, possuir força heurística

Escolha entre teorias

Progressão x regressão:
Força Heurística x Acúmulo de hipóteses ad-hoc

Gravitação Newtoniana: é a resposta final?

Slides 3 – A gravidade revisitada

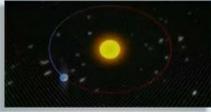


A curvatura do espaço



A gravitação newtoniana

A curvatura do espaço



A gravitação einsteiniana

Problema de Mercúrio: resolvido pela Gravitação de Einstein!

$$R_m = \frac{1}{2} R_{New} + \Delta R_m = \frac{8\pi G^2}{c^3} F_m$$

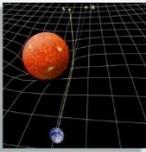

Gravitação Newtoniana
X
Gravitação Einsteiniana

Progressão e regressão:
Força Heurística e acúmulo de hipóteses não corroboradas

Elementos de escolha?

Mercúrio resolvido, ok.
E quanto a curvatura do espaço? Como testá-la?

A deflexão da luz



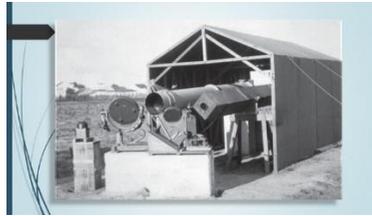

Mas como observar este desvio?



Arthur Eddington



(1882 - 1944)





Newton ou Einstein?



PROVA?

Força Heurística

Gravitação de Einstein (Relatividade Geral) → Teoria corroborada

Outras predições com evidências corroborativas

Buracos Negros

Expansão do Universo

~~O Método Científico~~ → Guias heurísticos

Nossas explicações são mutáveis

Teorias evoluem e são substituídas

Mas nossos sucessos perduram!



Apêndice E – O site para disponibilização dos textos e apresentações

<http://luizarthury.wix.com/isaque-alberto>

Crie um site no WIX

Início Textos Apresentações Sobre

A Natureza da Ciência em um estudo sobre a Gravitação

A Ciência representa o grau máximo de sistematização do mundo, do universo, a partir de nossas faculdades mentais, de nossas tentativas de compreensão da realidade. Mas como se dá esse processo de compreensão? Quais são as características da atividade científica? Essas questões fazem parte do que podemos chamar de Natureza da Ciência: os modos de proceder, os modos de decidir qual explicação é a mais adequada, enfim, os aspectos relacionados ao funcionamento da Ciência.

Dos diversos campos de estudo da Ciência, a Gravitação se constitui como um contexto bastante rico para essas discussões. Foi pensando em questões a respeito da Gravidade que boa parte de nossa Ciência foi estruturada.

Nessa página você vai encontrar os materiais de nossas discussões em sala, que, pretendemos, possam contribuir para o entendimento de alguns aspectos relacionados aos nossos processos de obtenção de conhecimento científico.

Este site foi criado por WIX.com. Crie seu site GRÁTIS >>

Crie um site no WIX

Início Textos Apresentações Sobre

Texto 1
Um Despertar na Grécia

Texto 2
A Supremacia da Gravidade

Texto 3
A Gravidade Revisitada

Este site foi criado por WIX.com. Crie seu site GRÁTIS >>



Apêndice F – Os trechos textuais usados na atividade em grupo

Grupo ANomes:

Os trechos a seguir são partes de livros didáticos de física, que podem ou não ser um bom exemplo a respeito da Natureza da Ciência, ou seja, podem ou não caracterizar de forma adequada alguns elementos da atividade científica. Discutam cada trecho e formulem um parecer sobre o que é afirmado, argumentando os pontos que vocês julgarem ser adequados e também os pontos que vocês julgarem inadequados ou incorretos.

Trecho 1

Os cientistas, cada qual com os métodos de pesquisa da época e do lugar, observam sistematicamente os fenômenos da natureza, tomam dados sobre as grandezas físicas envolvidas e induzem as leis ou princípios. Eles procuram estabelecer regras gerais para as explicações dos acontecimentos naturais (SHIGEKIYO et al., 1993, p. 10).

Trecho 2

[...] à medida que o ser humano aprofunda o seu conhecimento da natureza, torna-se necessário aprimorar o saber científico, o que exige contínua atualização e reformulação dessa forma de conhecimento. Por essa razão, a ciência não tem verdades definitivas ou dogmas. Todas as teorias e leis e todos os princípios científicos são provisórios, valem durante algum tempo e em determinadas condições (GASPAR, 2004, p. 12).

Grupo B

Nomes:

Os trechos a seguir são partes de livros didáticos de física, que podem ou não ser um bom exemplo a respeito da Natureza da Ciência, ou seja, podem ou não caracterizar de forma adequada alguns elementos da atividade científica. Discutam cada trecho e formulem um parecer sobre o que é afirmado, argumentando os pontos que vocês julgam ser adequados e também os pontos que vocês julgam inadequados ou incorretos.

Trecho 1

Dotado de uma notável intuição, que lhe permitiu estabelecer a Lei da Gravitação Universal – que explica os movimentos dos astros – a partir da simples queda de uma maçã, o genial matemático inglês [Newton] inventou o cálculo diferencial e integral, para que seus princípios não fossem meras suposições (FERRARO et al., 1996, p. 166).

Trecho 2

Embora seja comum falar em um **método científico**, composto de uma série de procedimentos que possibilitariam novas descobertas, é pouco provável que alguma descoberta científica o tenha seguido com rigor. A ideia de que hipóteses e teorias surjam da observação dos fatos ou da experimentação não é verdadeira. Que fatos? Que experiências? A seleção de determinados fatos ou a realização de determinadas experiências indicam que, na verdade, as hipóteses e as teorias a investigar já existem. Em outras palavras, as experiências são feitas ou os fatos são observados em razão de alguma hipótese teórica previamente formulada. Dessa forma, uma nova teoria pode dar a um fato cientificamente corriqueiro, como um eclipse solar, uma importância excepcional. É o caso do eclipse solar que, em 1919, trouxe dezenas de cientistas de todo o mundo a Sobral, cidade do Ceará, local privilegiado para a observação daquele eclipse. O objetivo era verificar se a luz sofre atração gravitacional, fenômeno chamado na época de **desvio de Einstein**, previsto na sua então recém-formulada Teoria da Relatividade Geral. [...] Esse desvio de luz ao passar junto ao Sol já havia ocorrido centenas de vezes, em todos os eclipses solares anteriores, mas nunca havia sido observado, até uma previsão teórica dirigir a atenção para ele. Não é a observação que origina a teoria, mas, como o próprio Einstein dizia, ‘é a teoria que decide o que deve ser observado’ (GASPAR, 2004, p. 13, grifos do autor).

Grupo C

Nomes:

Os trechos a seguir são partes de livros didáticos de física, que podem ou não ser um bom exemplo a respeito da Natureza da Ciência, ou seja, podem ou não caracterizar de forma adequada alguns elementos da atividade científica. Discutam cada trecho e formulem um parecer sobre o que é afirmado, argumentando os pontos que vocês julgam ser adequados e também os pontos que vocês julgam inadequados ou incorretos.

Trecho 1

A demonstração do Teorema de Newton sobre as forças centrais e as áreas percorridas, nada tem a ver com infantis 'inspirações poéticas' em torno da queda das maçãs. Baseia-se, isto sim, em análise algébrica avançada! Contra o mito do mero observador sagaz e intuitivo, a realidade nos mostra Newton como um matemático de grandes qualidades. Ele não só se apoiou em pesquisas anteriores, mas foi capaz de renová-las e ampliá-las, usando para isso grande dose de imaginação e criatividade (TALAVERA, 2005, p. 67).

Trecho 2

A física estuda determinados fenômenos que ocorrem no Universo. O método que utiliza para conhecer esses fenômenos é simplificadamente o seguinte: observa repetidas vezes o fenômeno destacando fatos notáveis. Utilizando aparelhos de medida, desde o relógio para medir o tempo e a fita métrica para medir comprimentos, até instrumentos mais sofisticados, determina a medida das principais grandezas presentes no fenômeno. Com essas medidas procura alguma relação existente no fenômeno, tentando descobrir alguma lei ou princípio que o rege. Eventualmente essas leis ou princípios são expressos por fórmulas [...]. Em resumo, o método da apreensão do conhecimento da Física é o seguinte: a) observação dos fenômenos, b) medida de suas grandezas, c) indução ou conclusão de leis ou princípios que regem os fenômenos. Esse método de conhecimento é denominado **método experimental** (FERRARO et al., 1991, p. 3, grifo do autor).

Grupo D

Nomes:

Os trechos a seguir são partes de livros didáticos de física, que podem ou não ser um bom exemplo a respeito da Natureza da Ciência, ou seja, podem ou não caracterizar de forma adequada alguns elementos da atividade científica. Discutam cada trecho e formulem um parecer sobre o que é afirmado, argumentando os pontos que vocês julgam ser adequados e também os pontos que vocês julgam inadequados ou incorretos.

Trecho 1

Frequentemente ouvimos falar, de um modo bastante questionável, num **método científico**, como se houvesse um método único e seguro que se aplicasse a todas as ciências. Infelizmente, porém, as coisas não são tão simples. Há um ramo da Filosofia, denominado Filosofia da Ciência, que se preocupa em estudar, entre outros temas, a questão do método científico, e até agora não há unanimidade entre os filósofos sobre essa questão. [...] Tudo indica que há, na realidade, vários métodos; [...] Fazendo-se um estudo dos caminhos seguidos pelos físicos em um grande número de casos, verifica-se que não há uma receita dentro da qual se encaixem todos esses caminhos (SAMPAIO & CALÇADA, 2001a, p. 19-20, grifo do autor).

Trecho 2

O estudo científico dos movimentos dos corpos deve-se a Galileu Galilei (1564-1642), que introduziu em Física o *método experimental*. Este consiste em observar os fenômenos, medir suas grandezas e estabelecer as leis físicas que os regem (FERRARO et al., 1996, p. 158, grifo do autor).

Grupo E

Nomes:

Os trechos a seguir são partes de livros didáticos de física, que podem ou não ser um bom exemplo a respeito da Natureza da Ciência, ou seja, podem ou não caracterizar de forma adequada alguns elementos da atividade científica. Discutam cada trecho e formulem um parecer sobre o que é afirmado, argumentando os pontos que vocês julgarem ser adequados e também os pontos que vocês julgarem inadequados ou incorretos.

Trecho 1

Ao observar a queda de um corpo, se você é dotado de espírito crítico poderá perguntar: Por que o corpo cai? Há mais de dois séculos atrás, ao observar uma maçã cair, Isaac Newton respondeu a esta pergunta, afirmando que era devido à força de atração exercida pela Terra (UENO & YAMAMOTO, 1982, p. 232).

Trecho 2

Você teria uma ideia inicial de como descobrir tais leis da natureza? Segundo Lord Kelvin, famoso físico inglês do século XIX, ‘quando você puder *medir* aquilo do que estiver falando e conseguir expressá-lo em números, você conhecerá alguma coisa sobre o assunto...’ (ARRUDA & ANJOS, 1993a, p. 2, grifo do autor).

Apêndice G – Slides da atividade em grupo

Atividade 4 – Grupo A

Trecho 1

Os cientistas, cada qual com os métodos de pesquisa da época e do lugar, observam sistematicamente os fenômenos da natureza, tomam dados sobre as grandezas físicas envolvidas e induzem as leis ou princípios. Eles procuram estabelecer regras gerais para as explicações dos acontecimentos naturais (SHIGEKIYO et al., 1993, p. 19).

Atividade 4 – Grupo A

Trecho 2

[...] à medida que o ser humano aprofunda o seu conhecimento da natureza, torna-se necessário aprimorar o saber científico, o que exige contínua atualização e reformulação dessa forma de conhecimento. Por essa razão, a ciência não tem verdades definitivas ou dogmas. Todas as teorias e leis e todos os princípios científicos são provisórios, valem durante algum tempo e em determinadas condições (GASPAR, 2004, p. 12).

Atividade 4 – Grupo B

Trecho 1

Dotado de uma notável intuição, que lhe permitiu estabelecer a Lei da Gravitação Universal – que explica os movimentos dos astros – a partir da simples queda de uma maçã, o genial matemático inglês [Newton] inventou o cálculo diferencial e integral, para que seus princípios não fossem meras suposições (FERRARO et al., 1996, p. 166).

Atividade 4 – Grupo B

Trecho 2

Embora seja comum falar em um método científico, composto de uma série de procedimentos que possibilitam a sua descoberta, é pouco provável que alguma descoberta científica o tenha seguido com rigor. A ideia de que hipóteses e teorias nascem da observação dos fatos ou da experimentação está errada. Que fatos? Que experiências? A seleção de determinados fatos ou razões de algumas hipóteses teóricas previamente formuladas. Dessa forma, uma teoria pode dar a um fato cientificamente comprovado, como um eclipse total, uma interpretação excepcional. É o caso de eclipses solares que, em 1919, foram observados de centenas de locais e usados a bordo, cidade do Ceará, local privilegiado para a observação desse eclipse. O objetivo era verificar se a luz sofre refração gravitacional, fenômeno chamado na época de desvio de luz. Eletricista previsto na sua carta rotineiramente Teoria da Relatividade Geral. [...] Este desvio de luz ao passar perto do Sol já havia ocorrido centenas de vezes, em todas as eclipses solares anteriores, mas nunca havia sido observado, até uma previsão teórica dirigida a observação para ele. Não é a observação que confirma a teoria, mas, como o próprio Einstein dizia, “a teoria que decide o que deve ser observado” (GASPAR, 2004, p. 11, grifo do autor).

Atividade 4 – Grupo C

Trecho 1

A demonstração do Teorema de Newton sobre as forças centrais e as áreas percorridas, nada tem a ver com infâncias inspirações poéticas em torno da queda das maçãs. Bastante, isto sim, em análise algébrica avançada! Contra o mito do mero observador sagaz e intuitivo, a realidade nos mostra Newton como um matemático de grandes qualidades. Ele não só se apoiou em pesquisas anteriores, mas foi capaz de reinvê-las e ampliá-las, usando para isso grande dose de imaginação e criatividade (TALAVERA, 2008, p. 67).

Atividade 4 – Grupo C

Trecho 2

A física nunca determinou fenômenos que ocorreram no Universo. O método que utiliza para conhecer esses fenômenos é simplificado e o seguinte: observa-se repetidas vezes o fenômeno de maneira lenta e cuidadosa. Utilizam-se aparelhos de medida, desde o relógio para medir o tempo e a fita métrica para medir comprimentos, até instrumentos mais sofisticados, direcionados a medir das principais grandezas presentes no fenômeno. Com essa medida procura alguma hipótese explicar os fenômenos, tentando descrever alguma lei ou princípio que se regem. Eventualmente essa lei ou princípio são expressos por fórmulas [...]. Em resumo, o método da abordagem do conhecimento é: (1) observação do fenômeno; (2) medição de suas grandezas; (3) indução ou conclusão de leis ou princípios que regem os fenômenos. Este método de conhecimento é denominado método experimental (FERRARO et al., 1996, p. 3, grifo do autor).

Atividade 4 – Grupo D

Trecho 1

Frequentemente ouvimos falar de um método bastante questionável, com método científico, como se houvesse um método único e seguro que se aplicasse a todas as ciências. Indiferentemente, porém, se entenda isto de um modo simplista, há um caso da filosofia, denominada Filosofia da Ciência, que se preocupa em estudar, entre outros temas, a questão do método científico e até agora não há unanimidade entre os filósofos sobre essa questão. [...] Tudo indica que há, na realidade, vários métodos. [...] Focaremos um estudo dos caminhos seguidos pelos filósofos em um grande número de casos, verificando que não há uma única maneira de qual se encaram todos estes caminhos (SAMPÃO & CALGADA, 2001, p. 19-20, grifo do autor).

Atividade 4 – Grupo D

Trecho 2

O estudo científico dos movimentos dos corpos deve-se a Galileu Galilei (1564-1642), que introduziu em Física o método experimental. Este consiste em observar os fenômenos, medir suas grandezas e estabelecer as leis físicas que os regem (FERRARO et al., 1996, p. 158, grifo do autor).

Atividade 4 – Grupo E

Trecho 1

Ao observar a queda de um corpo, se você é dotado de espírito crítico poderá perguntar: Por que o corpo cai? Há mais de dois séculos atrás, ao observar uma maçã cair, Isaac Newton respondeu a esta pergunta, afirmando que era devido à força de atração exercida pela Terra (UENO & YAMAMOTO, 1982, p. 232).

Atividade 4 – Grupo E

Trecho 2

Você teria uma ideia inicial de como descobrir tais leis da natureza? Segundo Lord Kelvin, famoso físico inglês do século XIX, “quando você puder medir aquilo do que estiver falando e conseguir expressá-lo em números, você conhecerá alguma coisa sobre o assunto.” (ARRUDA & ANJOS, 1993a, p. 2, grifo do autor).

Apêndice H – O questionário aos alunos



Unidade de Ensino - Elementos da Natureza da Ciência em um Estudo com a Gravitação

Nome: _____ Turma: _____

Avaliação

1. Avalie atentamente as afirmativas abaixo, e comente o que você pensa a respeito de cada uma.

a) Os antigos gregos se destacaram na história por suas tentativas de explicar a natureza sem recorrer à mitologia, o que ocasionou teorias corretas para os fenômenos observados no céu.

b) Experimentos servem para provar uma teoria.

c) O movimento retrógrado é uma evidência que pode ser utilizada a favor tanto do geocentrismo quanto do heliocentrismo, o que mostra como a observação dos fenômenos naturais não é suficiente para construirmos teorias científicas.

d) O cientista, normalmente trabalhando sozinho, observa o mundo e elabora teorias a partir dos dados observados.

e) O sistema geocêntrico foi abandonado porque não conseguia explicar nenhum dos fenômenos observados, como o movimento retrógrado e o movimento diário do Sol e da Lua.

f) As teorias científicas direcionam nosso olhar para a natureza, ou seja, muitas descobertas científicas na verdade são resultado de uma indicação da teoria, como a descoberta do planeta Netuno.

g) O método científico, que os cientistas seguem, consiste em: a) observação dos fenômenos, b) medida de suas grandezas, c) constatação de padrões e d) indução das leis e teorias científicas.

2. O texto abaixo contém afirmativas inadequadas e também afirmativas adequadas em relação à Natureza da Ciência, de acordo com os assuntos discutidos. Localize cada uma e justifique sua escolha.

Ao longo da história da ciência, um dado fenômeno natural foi explicado por diferentes teorias. Mas chega um momento onde uma dessas teorias se mostra superior, fazendo com que outras sejam abandonadas. Uma teoria é abandonada quando surge uma anomalia, ou seja, quando algum dado discordante mostra que a previsão teórica está errada, indicando que a teoria então também está errada. Quando uma previsão é confirmada, a teoria passa a ser provada, passando a ser uma lei inquestionável.

3. Diga o que você entende por *hipótese ad hoc*, elaborando alguns exemplos. Hipóteses ad hoc são desejáveis ou indesejáveis para as teorias científicas? Comente.
4. Diga o que você entende por *força heurística*, e exemplifique no caso da Gravitação de Newton e da Gravitação de Einstein.
5. Ao longo da história da ciência, frequentemente diferentes explicações foram dadas para os fenômenos naturais, fazendo surgir teorias rivais, ou seja, que concorrem para a explicação de um mesmo conjunto de fenômenos. Imagine-se sendo um “juiz” ou “juíza” que precisa escolher entre teorias concorrentes. Comente a respeito de quais elementos você usaria para decidir qual delas é melhor.
6. Os elementos descritos por você, na questão anterior, garantem a escolha pela teoria mais correta ou verdadeira? Comente.

Apêndice I – Os planos de ensino – versão piloto

Os planos de aula apresentados aqui representam uma sugestão de dinâmica. Preferimos usar os termos “encontros” e “momentos” no lugar de “aulas” e “tempo”, para possibilitar a flexibilização do andamento das atividades, ou seja, estes encontros e momentos dependem do número de aulas disponíveis e a duração das mesmas para o caso de sua escola. Contudo, indicamos uma sugestão de tempo previsto, tomando por base aulas de 45 minutos. Os tempos de exposição (apresentações eletrônicas) e discussão dos temas poderão estar fundidos, ou seja, não pretendemos que essas duas etapas sejam separadas. As discussões podem ser realizadas ao longo das exposições.

Primeiro encontro

Procedimentos:

- Apresentar a unidade de ensino e dinâmica de atividades;
- obter, junto aos alunos, algumas primeiras impressões em relação à atividade científica;
- construir um quadro sintético das características da atividade científica, segundo essas impressões;
- orientar a leitura dos textos.

Momentos do primeiro encontro:

Quadro sintético:

Momento 1 (10 min)	Apresentação geral, da dinâmica das aulas e exposição dos objetivos da unidade de ensino.
Momento 2 (15 min)	Conversa inicial sobre as concepções dos alunos em relação à atividade científica
Momento 3 (15 min)	Construção, com os alunos, de um quadro com os principais elementos e características da atividade científica, segundo suas concepções iniciais
Momento 4 (5 min)	Indicação de leitura, para o próximo encontro, do texto 1

Quadro - Dinâmica proposta do primeiro encontro:

Momento 1	Apresentar aos alunos a temática geral a ser trabalhada nos sete encontros, seus objetivos gerais e dinâmicas de aula, como se segue. Comentar sobre a importância dos estudos com a gravidade, campo que produziu alguns dos conhecimentos mais importantes da ciência. Sugerir como a evolução de seus conceitos principais, a serem estudados ao longo da unidade de ensino, é propícia para se discutir não só as descobertas e teorias da ciência, mas também um pouco de seu próprio funcionamento, ou seja, seus processos de construção de conhecimento, enfatizando que este funcionamento da ciência é um dos principais objetivos da presente unidade. Em seguida mencionar a importância da participação efetiva dos alunos, com a leitura dos textos e realização das atividades propostas (essas atividades poderão ser consideradas como avaliativas pelo professor).
Momentos 2 e 3	Mencionar (novamente) que a atividade científica será foco das discussões ao longo da unidade de ensino, e que para isso é muito importante começar por suas próprias visões a respeito desta atividade. Traçar uma tabela na lousa, com o título sugerido: “Características e procedimentos da atividade científica”. A seguir, conversar com os alunos, procurando indagar sobre o que eles consideram ser “ciência”, e quais seriam suas características. Induzir suas respostas e afirmações (induzir sua participação, naturalmente), mas não influenciar essas mesmas, uma vez que o objetivo é formar um quadro geral com as concepções dos alunos, a ser posteriormente discutida. Para isso, tirar uma foto do quadro resultante, ou solicitar que algum aluno o transcreva, ou fazer isso pessoalmente ao longo das conversas (escolher a estratégia que melhor lhe convir), para a atividade de discussão final. Nesta etapa é provável que não exista um consenso em relação às características compiladas. Informar então aos alunos que se trata da imagem mais próxima da maioria participante. Ainda, colocar diferentes colunas na tabela, com características não consensuais, informando sua ocorrência, se for o caso.
Momento 4	Reiterar a importância da participação dos alunos durante a unidade de ensino, e, para isso, enfatizar a importância da leitura dos textos e realização das atividades sugeridas. Apresentar o texto para os alunos, mencionando algumas técnicas básicas de leitura atenta, como sublinhar trechos considerados mais importantes e, principalmente, trechos onde houver dúvidas e/ou interesse de se comentar um pouco mais. Informar que ao final de todos os textos haverá algumas questões a serem respondidas. Informar ainda que ao final da unidade haverá uma atividade de avaliação, para tecer um retorno efetivo da unidade de ensino, por parte dos alunos. Entregar o texto 1 para os alunos, indicando sua leitura e realização das atividades sugeridas para a próxima aula. Dependendo do número de aulas, e do tempo didático, aquele efetivamente utilizado em sala, propomos qualquer mudança nessa dinâmica que facilite o trabalho. Apenas solicitamos que isso seja mencionado no diário de cada aula.

Segundo encontro

Procedimentos	Aprendizagens esperadas
<ul style="list-style-type: none"> • Coletar as impressões e dificuldades encontradas com o texto 1; • Expor/discutir os conteúdos e questões do texto 1; • orientar a leitura do texto 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconhecer a atividade científica como uma disputa de diferentes explicações; • A dinâmica entre explicação e observação; • Caracterização dos sistemas Geocêntrico e Heliocêntrico; • Conceituação de anomalia; • O movimento retrógrado dos planetas; • Conceituação do termo <i>ad-hoc</i>.

Momentos do segundo encontro:

Quadro sintético:

Momento 1 (5 min)	Conversa inicial sobre o texto 1, impressões gerais e dificuldades encontradas na leitura.
Momento 2 (15 min)	Exposição da apresentação eletrônica 1, referente ao texto 1
Momento 3 (20) min	Discussão das questões do texto, da apresentação, e do conteúdo geral
Momento 4 (5 min)	Indicação de leitura do texto 2

Quadro - Dinâmica proposta do segundo encontro:

Momentos 1 e 2	Chamar os alunos para um primeiro conjunto de impressões em relação ao texto lido. Qual a imagem geral em relação ao texto? Foi uma leitura interessante? Foi difícil? Quais partes? Anotar na lousa e no diário de aula, para posterior consulta e discussão. Iniciar a apresentação eletrônica referente ao texto, sempre atentando às questões, curiosidades e dúvidas dos alunos. Procurar apresentar cada slide a partir da - e com a - participação dos alunos, mantendo o interesse desses e uma dinâmica a mais interativa possível. As discussões centrais deverão ser realizadas ao longo dessa apresentação.
Momento 3	Passar à discussão das questões do texto, procurando debater as respostas dos alunos, ilustrando e voltando aos conteúdos discutidos sempre que oportuno. Inquirir os alunos sobre as dificuldades no texto, e o papel da apresentação eletrônica no sentido de resolvê-las. Inquirir os alunos sobre possíveis dúvidas, curiosidades e questões não contempladas nas discussões, procurando intermediar a discussão até a resolução mais oportuna.
Momento 4	Entregar o <i>texto 2</i> para os alunos, indicando sua leitura e realização das atividades sugeridas para a próxima aula. Reiterar as dicas anteriormente sugeridas, sobre marcação das passagens onde houver dúvidas e curiosidades que se deseja discutir.

Terceiro encontro

Procedimentos principais	Aprendizagens esperadas
<ul style="list-style-type: none"> • Coletar as impressões e dificuldades encontradas com o texto 2; • Expor/discutir os conteúdos e questões do texto 2; • orientar a leitura do texto 3. 	<ul style="list-style-type: none"> • A explicação do movimento retrógrado segundo os dois sistemas; • A ideia central da Gravitação de Newton, e precedentes (Copérnico, Galileu, Kepler); • A importância da predição em uma teoria – a <i>força heurística</i>; • A diferença entre prova e corroboração; • Os critérios de teste de uma teoria e acomodações das anomalias; • Os critérios de escolha entre teorias concorrentes.

Momentos do terceiro encontro

Quadro sintético:

Momento 1 (5 min)	Conversa inicial sobre o texto 2, impressões gerais e dificuldades encontradas na leitura.
----------------------	--

Momento 2 (15 min)	Exposição da apresentação eletrônica 2, referente ao texto 2
Momento 3 (20 min)	Discussão das questões do texto, da apresentação, e do conteúdo geral
Momento 4 (5 min)	Indicação de leitura do texto 3

Dinâmica proposta:

Momentos 1 e 2	Chamar os alunos para um primeiro conjunto de impressões em relação ao texto lido. Qual a imagem geral em relação ao texto? Foi uma leitura interessante? Foi difícil? Quais partes? Anotar na lousa e no diário de aula, para posterior consulta e discussão. Iniciar a apresentação eletrônica referente ao texto, sempre atentando às questões, curiosidades e dúvidas dos alunos. Procurar apresentar cada slide a partir da - e com a - participação dos alunos, mantendo o interesse desses e uma dinâmica mais interativa e agradável. As discussões centrais deverão ser realizadas ao longo desta apresentação.
Momento 3	Passar à discussão das questões do texto, procurando debater as respostas dos alunos, ilustrando e voltando aos conteúdos discutidos sempre que oportuno. Inquirir os alunos sobre as dificuldades no texto, e o papel da apresentação eletrônica no sentido de resolvê-las. Inquirir os alunos sobre possíveis dúvidas, curiosidades e questões não contempladas nas discussões, procurando intermediar a discussão até a resolução mais oportuna.
Momento 4	Entregar o <i>texto 3</i> para os alunos, indicando sua leitura e realização das atividades sugeridas para a próxima aula. Reiterar as dicas anteriormente sugeridas, sobre marcação das passagens onde houver dúvidas e curiosidades que se deseja discutir.

Quarto encontro

Procedimentos principais	Aprendizagens esperadas
<ul style="list-style-type: none"> • Coletar as impressões e dificuldades encontradas com o texto 3; • Expor/discutir os conteúdos e questões do texto 3; • orientar a leitura do texto 4 	<ul style="list-style-type: none"> • A Gravitação de Einstein: o princípio da equivalência e a curvatura do espaço; • Diferenças essenciais entre a Gravitação newtoniana e a einsteiniana; • O papel da experimentação no desenvolvimento de uma teoria.

Momentos do quarto encontro:

Quadro sintético

Momento 1 (5 min)	Conversa inicial sobre o texto 3, impressões gerais e dificuldades encontradas na leitura.
Momento 2 (15 min)	Exposição da apresentação eletrônica 3, referente ao texto 3
Momento 3 (20 min)	Discussão das questões do texto, da apresentação, e do conteúdo geral
Momento 4 (5 min)	Indicação de leitura do texto 4

Dinâmica proposta:

Momentos 1 e 2	Chamar os alunos para um primeiro conjunto de impressões em relação ao texto lido. Qual a imagem geral em relação ao texto? Foi uma leitura interessante? Foi difícil? Quais partes? Anotar na lousa e no diário de aula, para posterior consulta e discussão. Iniciar a apresentação eletrônica referente ao texto, sempre atentando às questões, curiosidades e dúvidas dos alunos. Procurar apresentar cada slide a partir da - e com a - participação dos alunos, mantendo o interesse desses e uma dinâmica mais interativa e agradável. As discussões centrais deverão ser realizadas ao longo desta apresentação.
Momento 3	Passar à discussão das questões do texto, procurando debater as respostas dos alunos, ilustrando e voltando aos conteúdos discutidos sempre que oportuno. Inquirir os alunos sobre as dificuldades no texto, e o papel da apresentação eletrônica no sentido de resolvê-las. Inquirir os alunos sobre possíveis dúvidas, curiosidades e questões não contempladas nas discussões, procurando intermediar a discussão até a resolução mais oportuna.
Momento 4	Entregar o <i>texto 4</i> para os alunos, indicando sua leitura e realização das atividades sugeridas para a próxima aula. Reiterar as dicas anteriormente sugeridas, sobre marcação das passagens onde houver dúvidas e curiosidades que se deseja discutir. Dar atenção especial à tarefa deste quarto e último texto, onde os alunos formarão equipes ao longo do tempo até a próxima aula, tempo em que confeccionarão um cartaz (ou outra forma de visualização, conforme interesse e possibilidade, como alguma mídia eletrônica de apresentação visual) que ilustre uma linha do tempo, onde apareçam os pensadores discutidos, juntamente com suas principais contribuições à ciência. Para cada período de tempo indicado na linha, o material será enriquecido com uma contextualização histórica, ou seja, cada momento será ilustrado com outros marcos históricos conhecidos no período em questão. Os alunos valer-se-ão de um auxílio e contribuição do(a) professor(a) de história, devidamente comunicado(a) para isso. Informar aos alunos que estes elementos históricos de contextualização devem ser preferencialmente diferentes para cada equipe. Fornecer o restante da aula para essa organização dos alunos!

Quinto encontro

Procedimentos principais	Aprendizagens esperadas
<ul style="list-style-type: none"> • Coletar as impressões e dificuldades encontradas com o texto 4; • Expor/discutir os conteúdos e questões do texto 4; • Discutir a apresentação da linha do tempo confeccionada pelas equipes; • Orientar a implementação de atividade avaliativa, no próximo encontro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos científicos no desenvolvimento da ciência; • Os critérios de superioridade de uma teoria (o excesso de conteúdo corroborado); • A contextualização histórica de cada período comentado.

Momentos do quinto encontro:

Quadro sintético:

Momento 1 (3 min)	Conversa inicial sobre o texto 4, impressões gerais e dificuldades encontradas na leitura.
Momento 2	Exposição da apresentação eletrônica 4, referente ao texto 4

(15 min)	
Momento 3 (15 min)	Discussão do texto, da apresentação, e do conteúdo geral
Momento 4 (10 min)	Breve apresentação, por equipes, da linha do tempo contendo os pensadores e cientistas comentados, e das características da atividade científica discutidas (para otimizar o tempo de aula, e se necessário, fazer uma exposição dos trabalhos na sala, sem necessidade de apresentação)
Momento 5 (2 min)	Indicação da atividade avaliativa, no próximo encontro

Dinâmica proposta:

Momentos 1 e 2	Chamar os alunos para um primeiro conjunto de impressões em relação ao texto lido. Qual a imagem geral em relação ao texto? Foi uma leitura interessante? Foi difícil? Quais partes? Anotar na lousa e no diário de aula, para posterior consulta e discussão. Iniciar a apresentação eletrônica referente ao texto, sempre atentando às questões, curiosidades e dúvidas dos alunos. Procurar apresentar cada slide a partir da - e com a - participação dos alunos, mantendo o interesse desses e uma dinâmica mais interativa e agradável. As discussões centrais deverão ser realizadas ao longo desta apresentação.
Momento 3	Passar à discussão das questões do texto, procurando debater as respostas dos alunos, ilustrando e voltando aos conteúdos discutidos sempre que oportuno. Inquirir os alunos sobre as dificuldades no texto, e o papel da apresentação eletrônica no sentido de resolvê-las. Inquirir os alunos sobre possíveis dúvidas, curiosidades e questões não contempladas nas discussões, procurando intermediar a discussão até a resolução mais oportuna.
Momento 4	Gerenciar a apresentação das linhas do tempo confeccionadas por cada equipe, atentando para as possíveis diferenças entre cada trabalho, e comentando com os alunos sobre o resultado geral desta atividade.
Momento 5	Informar aos alunos de que na próxima aula será realizada uma avaliação, e que eles poderão consultar todo o material discutido. Solicite, portanto, que tragam os quatro textos para a realização dessa atividade.

Sexto encontro

- Realização de atividade avaliativa.

Fornecer a folha de avaliação aos alunos, e solicitar que respondam as questões de modo mais coletivo possível.

Sétimo encontro

Procedimentos principais:

- retorno da atividade avaliativa;
- discussão dos resultados;
- ratificação de algumas características da atividade científica, segundo os conteúdos trabalhados;
- retorno geral da unidade de ensino pelos alunos: impressões, dificuldades, sugestões...

Momentos do sétimo encontro:

Quadro sintético:

Momento 1 (15 min)	Retorno da atividade avaliativa: impressões gerais dos alunos, dificuldades encontradas e desempenho geral
Momento 2 (20 min)	Construção, com os alunos, de um quadro com os principais elementos e características da atividade científica, segundo suas concepções após os conteúdos trabalhados
Momento 3 (10 min)	Discussão geral da unidade de ensino: impressões, dificuldades, sugestões e avaliação de seu andamento.

Dinâmica proposta:

Momento 1	Comentário geral sobre a avaliação realizada: desempenho geral da classe e casos específicos, se oportuno. Perguntar aos alunos sobre a atividade realizada: dificuldades? Dúvidas restantes? Entregar as avaliações aos alunos (lembrar de só o fazer após ter cópias das mesmas, para a pesquisa a qual você está participando), e pedir que analisem brevemente as correções feitas. Reservar um tempo para possíveis trocas entre os alunos, e o professor.
Momento 2	Iniciar a retomada do quadro geral a respeito da atividade científica, segundo os conteúdos discutidos ao longo da unidade de ensino. Construir na lousa este quadro, a partir da participação dos alunos, seguindo as mesmas orientações quando da construção do primeiro quadro, no primeiro dia da unidade de ensino. Apresentar aos alunos este primeiro quadro, seja a partir da projeção da foto feita (se for o caso) ou de uma tabela compilada a partir das anotações realizadas no dia em questão. Discutir as diferenças, enfatizando os possíveis pontos de evolução em relação à imagem da atividade científica por parte dos alunos. Comentar sobre suas percepções a este respeito.
Momento 3	Inquirir os alunos a respeito da unidade de ensino como um todo. Quais suas impressões? Quais as principais dificuldades? Como eles aceitaram a leitura dos textos? Quais suas possíveis críticas? Quais suas possíveis sugestões? E, fundamentalmente, quais suas impressões sobre a evolução de sua visão em relação à atividade científica? Comentar com os alunos (e anotar no diário de aula) qualquer questão adicional.

Apêndice J – Os textos para os alunos – versão piloto

Texto 1 – Um despertar da Grécia

Até um pouco mais de um século atrás, praticamente toda a compreensão de que dispúnhamos a respeito do universo (que na época achávamos ser tão grande – ou pequeno – quanto o sistema solar), provinha da mecânica newtoniana, ou seja, das teorias e métodos matemáticos desenvolvidos por Isaac Newton (1643 – 1727)⁴⁹ e outros cientistas que aprofundaram e diversificaram seus estudos. Newton tinha formulado, por exemplo, os princípios básicos da dinâmica (as hoje chamadas leis de Newton), a teoria da Gravitação universal e o cálculo exigido para se lidar com estas questões sob os mais diversos contextos. Naturalmente, tudo isso não surgiu totalmente pronto, com Newton. Este cientista se baseou nos estudos de outros antes dele, como Kepler e Galileu (que se basearam em outros antes deles, e assim por diante). Mas para entendermos melhor a natureza de suas contribuições, precisamos voltar um pouco no tempo.

Há mais de dois mil anos atrás houve um período singular na Grécia, onde alguns pensadores tentaram buscar explicações para os fenômenos naturais que não dependessem da vontade dos deuses. Estes pensadores podem ser considerados os primeiros cientistas, e algumas questões levantadas nesta época iriam produzir séculos de embates e discussões a respeito de questões como a constituição de tudo o que existe (átomos, substâncias, combinações), nossa posição no universo (sistema solar e fenômenos celestes), a dinâmica dos movimentos (forças, acelerações, trajetórias), a história natural (seres vivos, fenômenos biológicos) e a matemática associada ao estudo de todos esses campos, junto com seus próprios problemas.

Para os nossos propósitos, é relevante mencionar que já no séc. II a.c. havia pessoas que achavam que a Terra girava em torno de seu próprio eixo, como Heráclides (390 a.c. – 310 a.c.), e achavam mais natural que a Terra, um corpo menor, girasse em torno do Sol, um corpo maior, como Aristarco (310 a.c. – 230 a.c.). Este pensador também fez boas estimativas a respeito das dimensões da Terra, da Lua e do Sol. É instigante (mas não sem explicação, como veremos) que essa ideia de heliocentrismo (concepção de que os planetas, incluindo a Terra, giram em torno do Sol) não tenha ganhado muitos adeptos, sendo praticamente apagada pelo geocentrismo (concepção de que a Terra fica no centro do sistema, ou mesmo do universo) por quase dois mil anos. Mas daqui a pouco chegaremos lá.

⁴⁹ Quando os anos de nascimento e morte se referirem ao período d.c., apresentaremos apenas os números.

Um grande problema com a questão de “quem gira em torno de quem”, é que os fenômenos básicos observados parecem confirmar ambas as suposições. Se você considera “óbvio” que nosso planeta é só mais um a orbitar o Sol, já tentou perceber a dificuldade para se evidenciar esse movimento? Afinal, se supusermos que a Terra está parada, e o Sol e tudo o mais giram ao nosso redor, o que observaremos em relação ao movimento do Sol, da Lua, das estrelas? Pense um pouco a respeito.

Se o que observamos é essencialmente o mesmo, supondo a Terra em movimento ou não, então como podemos avaliar nossas hipóteses? Como sabemos se é a Terra ou o Sol que está no centro do sistema? Ou nem um e nem outro? É de se supor que existam meios minimamente objetivos para escolher qual teoria é a correta, ou qual é a *mais* correta, ou, ainda, simplesmente qual é a *melhor*. Mas serão estes meios simples e evidentes? Será que temos um “método científico”, um roteiro de procedimentos que nos leve garantidamente ao conhecimento *mais* correto ou *melhor*? Se temos, então em que consiste? Quais os seus itens? E, se não temos, então como é possível obter conhecimento *mais* correto? São questões que procuraremos tratar ao longo de nossas discussões. Para isso, voltemos aos nossos amigos gregos.

A ideia de Aristarco, de uma Terra em movimento, embora fosse bastante interessante, não teve o mesmo alcance e influência que as ideias de outros pensadores da época. Um dos motivos mais diretos para isso é que, se a Terra estivesse em movimento, pensavam, então isto causaria efeitos perceptíveis na queda dos corpos e movimentos em geral. Por exemplo, supunha-se que, com a Terra em movimento, um objeto abandonado do alto de uma torre não cairia logo abaixo, mas um pouco afastado, devido ao movimento da Terra durante a queda do objeto. E também se acreditava que este movimento terrestre produziria ventos fortíssimos e constantes. O que você acha desses argumentos?

Não é de se estranhar que as pessoas de então confiassem mais em seus sentidos diretos, e nossas impressões imediatas conduzem facilmente a uma Terra imóvel, com o Sol girando ao seu redor. Era o que defendia Aristóteles (384 a.c. – 322 a.c.), pensador muito mais influente na ciência de então do que Aristarco. Aristóteles se dispôs a formular uma teoria que abrangesse as observações astronômicas de então, sendo um importante nome associado ao geocentrismo. Na verdade ele se propôs a formular explicações para tudo o que era observado, tornando-se um dos pensadores mais prolíficos da história. Mas alguns pensadores que viriam a seguir defendiam suas teorias ferozmente, de um modo praticamente dogmático, dificultando uma discussão saudável com outras formas de pensar.

Nesta época, já eram conhecidos movimentos astronômicos estranhos, observados em relação aos planetas em determinadas épocas do ano, onde estes planetas paravam no céu, e retrocediam (ver figura 1). Já então se

sustentava (corretamente!) que estes movimentos seriam apenas aparentes, ou seja, o planeta em questão descreveria uma órbita contínua, sendo este movimento retrógrado resultado de uma combinação de outros movimentos contínuos. Por influência de Platão, que considerava o círculo a forma geométrica perfeita, os planetas deveriam descrever trajetórias perfeitamente circulares. Como então explicar o retrocesso aparente?



Figura 1 – Movimento retrógrado.

Na imagem real, obtida entre 2005 e 2006, Marte é visto no céu com uma diferença de tempo de aproximadamente uma semana, formando a trajetória representada.

Fonte: <http://apod.nasa.gov/apod/ap060422.html>

Uma primeira (e complicada) tentativa de explicação com resultados relativamente satisfatórios, ou seja, que descrevia com algum grau de precisão aquilo que era observado, veio de um aluno de Platão, Eudoxo (390 a.c. – 338 a.c.). Este filósofo pensou em um conjunto de esferas concêntricas (com mesmo centro) que continham os corpos celestes, e que giravam umas em relação às outras, resultando nos movimentos aparentes observados no céu (ver figura 2).

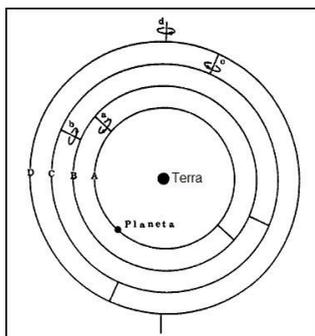


Figura 2 – Sistema de Eudoxo

Os planetas eram fixos em esferas concêntricas (A, B, C...) com a Terra em seu centro, e giravam umas em relação às outras, como indicado (a, b, c...).

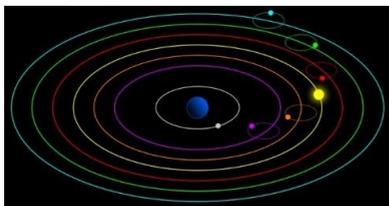
Adaptado de

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx>

Mas cedo se constatou que este complicado sistema tinha problemas, como o fato de não explicar as variações conhecidas dos movimentos retrógrados de um mesmo planeta ao longo dos anos, e nem as variações de tamanho aparente da Lua e brilho dos planetas.

Para tentar resolver estes problemas e melhorar o sistema de Eudoxo, outros pensadores, incluindo Aristóteles, acrescentaram mais esferas com movimentos ainda mais complicados, para reproduzir eficientemente os movimentos conhecidos, ou seja, para “salvar” os fenômenos observados. “Salvar”, neste contexto, significa ajustar a teoria, tantas vezes quanto preciso, para melhor descrever os fenômenos em questão. Hoje este jogo de “tentativa e erro” pode parecer assustador (afinal é assim que construímos teorias?), mas foi um recurso largamente empregado como explicação. Isto resultou em sistemas com epiciclos (ver quadro 1) e outros movimentos, no mínimo, criativos.

Ptolomeu (90 - 168), bastante influenciado por Aristóteles, representa o auge destas tentativas de salvar os fenômenos, acrescentando elementos arbitrários que fizeram as teorias se ajustarem ao máximo às observações. Este tipo de hipótese, formulada para ajustar as explicações aos fenômenos, é hoje conhecida por “ad-hoc”, expressão latina cujo significado é “para isto”, “para esta finalidade”. Uma hipótese ad-hoc, como veremos, não é necessariamente algo indesejável na pesquisa científica, desde que encontremos posteriormente boas evidências que justifiquem essas hipóteses. O problema é produzir teorias com cada vez mais elementos ad-hoc sem justificativas para além dos ajustes: como podemos saber se estes ajustes representam os fenômenos reais? Não existiriam teorias mais simples que explicassem os mesmos fenômenos? E, principalmente, se estas teorias mais simples existirem, então como podemos saber qual é a mais correta ou qual é a melhor? Qual chega mais perto do fenômeno estudado? Como podemos “provar” uma teoria?



Sistema Geocêntrico - A Terra ocupa o centro do sistema. Para poder explicar os movimentos retrógrados, os planetas tinham que executar um movimento em epiciclo, ou seja, um movimento circular em torno de um ponto que gira em torno da Terra.



Sistema Heliocêntrico - O Sol é o centro do sistema, com os outros planetas girando ao seu redor.

Quadro 1 – Os dois sistemas

Adaptado de <http://scienceblogs.com>

O fato é que a precisão obtida com todas estas hipóteses ad-hoc era a melhor que se dispunha, o que tornou o geocentrismo de Aristóteles e Ptolomeu o modelo mais divulgado e aceito em relação aos movimentos celestes. Para muitos, o que bastava era que este sistema descrevia adequadamente o que era conhecido, permitindo a construção de calendários mais precisos. O problema de quem realmente girava em torno de quem era secundário, embora isto fosse o principal para os pensadores da natureza, os precursores dos cientistas de hoje.

A propósito, aproveitamos para mencionar que este problema de “quem gira em torno de quem” é um exemplo do que se conhece como “relatividade dos movimentos”, ou seja, a resposta depende do ponto de referência que se adota (como você deve se lembrar das aulas de cinemática). Deste ponto de vista, não é errado dizer que o Sol gira em torno da Terra, se adotarmos a Terra como ponto de referência. A questão está em “sair do sistema”, no caso Terra-Sol, e julgar qual movimento é mais natural e explica de modo mais simples o que é observado.

O sistema aristotélico-ptolomaico foi largamente aceito pelos próximos mil e quinhentos anos, até que pensadores menos conformados (ou mais sinceros em relação à sua curiosidade?) questionaram a naturalidade desse sistema. Nicolau Copérnico (1473 - 1543) retomou a antiga ideia grega de um Sol no centro do sistema, conseguindo um sistema mais simples, e com menos epiciclos. Copérnico ainda usava alguns dos “recursos de ajuste”, e também considerava movimentos perfeitamente circulares para explicar o que era observado. Até este momento, aceitar o sistema de Copérnico, heliocêntrico, ou o de Aristóteles e Ptolomeu, geocêntrico, era mais uma questão de escolha pela simplicidade do que propriamente uma escolha pelo sistema mais verdadeiro.

Para explicar o movimento retrógrado dos planetas, o sistema geocêntrico precisava dos epiciclos. Com este artifício, o movimento retrógrado podia ser explicado como um movimento relativo (como todos são!) entre o planeta em questão e o fundo de estrelas fixas, conforme a figura 3.

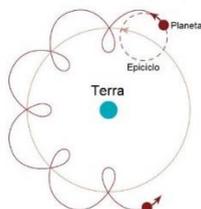


Figura 3 – O movimento retrógrado segundo o sistema geocêntrico.
Adaptado de <http://www.yorku.ca>

Agora, se conseguimos explicar as mesmas coisas com explicações mais simples, então supostamente temos uma vantagem: pois ao que parece a natureza se mostra desta maneira! Existe até um princípio, chamado de *princípio da parcimônia* (economia), atribuída ao pensador medieval Guilherme de Ockham (1285 – 1347), que resulta em que, se duas explicações geram os mesmos resultados, então estará correta a mais simples, a que necessita de menos elementos ad-hoc, a mais econômica. Esta “navalha de Okcham”, como ficou conhecida, não é uma regra geral que nos garante que estamos corretos, é claro, mas costuma ser um *guia heurístico*⁵⁰ com bons resultados, pois existe uma característica da natureza que o endossa: tudo tende para o mais baixo nível de energia, ou seja, para se ter complexidade, é preciso se ter energia. E como a natureza é intrinsecamente parcimoniosa com a energia, os sistemas menos energéticos, mais simples, são mais abundantes, mais “naturais”. É assim que se espera que as águas dos rios nos morros e regiões elevadas procurem as regiões mais próximas do nível do mar, é assim que se espera que um corpo menor gire em torno de um corpo maior (mesmo não sabendo, em um primeiro momento, por que isso acontece!). Mas atenção: esta argumentação não era usada por Copérnico, até mesmo porque o conceito de energia não existia na época! Mas certamente ele e seus seguidores se regozijavam pela maior simplicidade de seu sistema.

O sistema de Copérnico ainda continha epiciclos, mas em menor quantidade que o sistema de Ptolomeu. Ao colocar o Sol no centro do sistema, as simplificações foram consideráveis. Mas, à sua época, essa era uma ideia

⁵⁰ Heurística se refere a um procedimento qualquer utilizado para se resolver um problema. Sugerimos que você formule um significado adequado para o termo *guia heurístico*.

literalmente perigosa. Perigosa a ponto de colocar sua vida em risco, caso fosse divulgada! O pensamento corrente de então, o geocentrismo de Aristóteles e Ptolomeu, tinha não só um apelo popular de senso comum, como também um apelo religioso. Pois a ciência aristotélica tinha sido ajustada e defendida pelos círculos de influência do clero católico, que, você deve se recordar das aulas de história, dominava a política e a cultura da época. Qualquer discordância em relação ao geocentrismo era também uma discordância em relação à igreja, o que podia resultar em sérias penalidades ao “herege”. Para se ter uma ideia desse risco, mesmo depois de mais de meio século da morte de Copérnico, Giordano Bruno (1548 – 1600), um pensador que defendia Copérnico e outras ideias que desagradavam a igreja (e, sem surpresas, ideias bastante coerentes!) foi queimado vivo por isso!

Como Copérnico estava ciente dos riscos, preferiu guardar este “segredo” até o dia de sua morte. Somente depois seus escritos foram divulgados, influenciando outros importantes nomes de nossa ciência. E esses não estavam muito dispostos a guardar o segredo para si, como veremos em nosso próximo encontro!

Questões para discussão

- Faça um esquema simples mostrando o que significa e quais as características dos sistemas Geocêntrico e Heliocêntrico, e quais pensadores são associados a cada um.
- Antes de ler este texto, você sabia que a trajetória observada dos planetas no céu apresenta o movimento retrógrado ilustrado nas discussões? Como você justifica que, depois de mais de dois mil anos, este movimento seja tão pouco conhecido?
- Citamos algumas vezes o termo “mais correta” para se referir às qualidades de uma teoria científica. Para você, que qualidades uma teoria deve ter para ser considerada mais correta?
- Procure a palavra “heurística” no dicionário, e formule um significado adequado para o termo “guia heurístico” (se você leu o texto com atenção, já deve ter feito isso!).
- Elabore uma frase que contenha o termo *ad-hoc*, empregado no sentido descrito no texto.
- Para você, que tipo de atitude é desejável diante de diferentes explicações para um mesmo fenômeno, e porque o pensamento religioso da época trouxe problemas a pensadores que buscavam outras explicações?

Texto 2 – A supremacia da gravidade

Para entendermos adequadamente a importância e abrangência dos grandes avanços de entendimento da natureza no século XX, apresentamos anteriormente uma breve digressão a respeito dos dois sistemas explicativos em relação aos corpos celestes próximos, o nosso sistema solar. Como vimos, o sistema geocêntrico continha recursos ad-hoc para se ajustar ao que era observado, e após a morte de Copérnico, que defendia o sistema heliocêntrico, seus escritos foram conhecidos por outros pensadores. E uma iminente revolução estava prestes a ocorrer! Pois um professor da Universidade de Pádua iria trabalhar diretamente com o heliocentrismo e, diferentemente de Copérnico, começaria a espalhar o quanto antes a “novidade”.

Galileu Galilei (1564 – 1642) é um dos nomes mais importantes da ciência moderna. Fez estudos com planos inclinados, chegando a uma lei matemática dos objetos em queda, e descobriu que a aceleração com que os objetos caem não depende da massa dos mesmos (o que já era por si só uma afronta aos aristotélicos, que endossavam a noção de senso comum de que objetos mais pesados caem primeiro ao solo). Construiu o que talvez tenha sido a primeira luneta da história (embora não o primeiro telescópio, que já era usado por navegadores, sendo a Holanda um centro de construtores de lentes e telescópios, na época). Com ele, Galileu pesquisou os planetas Júpiter e Saturno, cujas luas foram vistas pela primeira vez na história. Fez os primeiros desenhos detalhados da Lua (a propósito, você já pensou o porquê da palavra “luneta”?), e isso foi um passo a mais contra os aristotélicos, que defendiam que os corpos celestes eram perfeitos, e irregularidades, montanhas e crateras não podiam fazer parte da “natureza perfeita supraterrrestre”. Não bastasse isso, Galileu estudou o sistema de Copérnico e o aperfeiçoou, sendo o principal nome responsável pela iminente aceitação desse sistema. Não sem enfrentar problemas com a igreja, é claro. Seus trabalhos formavam uma lista de heresias!

O sistema de Galileu não continha os epiciclos e complexos movimentos do sistema aristotélico-ptolomaico. Aos olhos de um aristotélico de então, o sistema de Galileu deveria ser incrivelmente simples (e herético!). E, o principal: produzia melhores resultados do que seu rival! Esse sistema conseguia explicar o movimento retrógrado pela simples diferença de velocidade de translação entre os planetas, o que produzia o aparente retrocesso do planeta, conforme a figura 1.

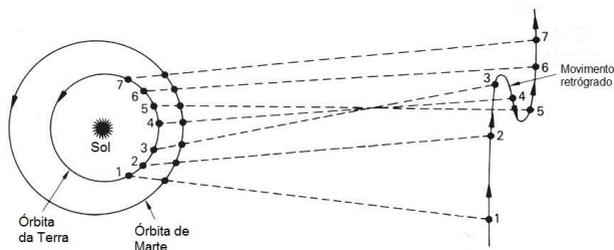


Figura 1 – O movimento retrógrado segundo o sistema heliocêntrico

Como se vê na figura, a maior velocidade de translação da Terra em relação à velocidade de Marte, por exemplo, faz com que, em determinadas épocas, esse planeta seja ultrapassado. Como resultado, Marte é visto em relação ao fundo de estrelas fixas nas posições indicadas pelos números de 1 a 7: de 1 a 3, enquanto a Terra ainda não ultrapassou Marte, este planeta é visto em seu curso habitual; de 3 a 5, quando a Terra está ultrapassando Marte, esse é visto executando uma trajetória retrógrada, ou seja, no sentido oposto ao que estava; de 5 a 7, após a Terra ter ultrapassado Marte, esse passa a ser visto novamente em seu sentido inicial.

Adaptado de <http://history.nasa.gov>

Uma das maneiras de ver como acontece o progresso científico é através da competição entre diferentes explicações. E estas, por sua vez, não são mais associadas a uma teoria, apenas, mas a uma série de teorias que formam um todo explicativo maior. Deste modo, ambos os sistemas, por exemplo, não formam mais uma teoria, e sim um conjunto de teorias individuais, como, por exemplo: “O Sol ou a Terra ocupa o centro do sistema?”; “Os planetas giram em círculos ao seu redor, ou o que gira em círculos ao redor do Sol ou da Terra é o centro do epiciclo?”; “As órbitas são circulares, ou executam um outro tipo de movimento?”. Cada uma destas teorias tem seu conjunto de explicações, de suas evidências, de argumentações para se sustentarem. Mas cada conjunto de teorias forma o que se conhece por *programa de pesquisa*: um conjunto de teorias relacionadas entre si, e que servem a um propósito maior. No caso, a de constituírem o sistema heliocêntrico ou o sistema geocêntrico. Portanto, a partir deste momento, sempre que nos referirmos ao termo *teoria*, ou *teoria científica*, estaremos considerando um conjunto de teorias, explicações, que pretendem não apenas explicar um fenômeno específico, mas servir a um propósito mais geral, que explica diversos fenômenos. É o que pode ser entendido por programa de pesquisa.

Neste modo de ver, um programa de pesquisa passa a ser considerado como preferível apenas quando colocado frente a um outro, e apenas quando apresenta algumas características inexistentes desse outro. Mas estamos fazendo aqui apenas uma primeira apresentação deste modo de ver a atividade científica, e seus elementos serão discutidos mais à frente.

A situação então estava assim: havia dois sistemas básicos em competição, e ambos tinham suas explicações para o que era observado. Mas o sistema de Galileu (Aristarco e Copérnico) tinha uma grande vantagem, que era sua simplicidade aliada às suas descrições mais precisas. Excetuando a questão religiosa (muitíssimo forte, mas que não será discutida aqui), que não admitia uma Terra em movimento, os pensadores comprometidos com a questão começaram a ficar sem desculpas para não pensar no novo sistema, defendido por Galileu. E, seja para tentar derrubá-lo ou para apoiá-lo, essa discussão já tinha se espalhado. Era uma questão de tempo para alguém pensar em formas mais categóricas de resolver a questão.

Mas a simplicidade, embora desejável, não é por si só um critério decisivo a favor de uma teoria. Embora o sistema heliocêntrico fosse superior ao seu rival aristotélico, no sentido de possibilitar descrições matemáticas mais precisas, com um maior acordo com o que era observado, Galileu não tinha uma teoria física consistente do funcionamento do sistema, ou seja, da *dinâmica* em relação aos seus componentes. Faltava-lhe uma teoria que produzisse não só explicações, mas também *fatos* novos. Ou seja, que conseguisse ir além da descrição. Faltava-lhe uma teoria que possibilitasse *predição* , que por sua vez permitisse *testar* a teoria. Do contrário, o sistema heliocêntrico seria apenas uma forma de descrever o que era observado, e os gregos de dois mil anos atrás tinham mostrado magistralmente como é possível descrever as mesmas observações com teorias diferentes. Qual descreve a realidade? Fica a gosto do cliente?

Agora, se uma teoria consegue, além de descrever o que outras descrevem, prever fatos novos posteriormente constatados, isso é sinal de que tocamos a natureza em um outro nível. Pois se espera que uma explicação tão poderosa a ponto de prever fenômenos não conhecidos esteja mais próxima da natureza que procura explicar! Chamamos esta capacidade de predição de *força heurística* : não apenas a teoria explica adequadamente o problema, como também consegue prever um fenômeno ainda não conhecido, posteriormente constatado.

Pois bem, Galileu tinha obtido um sistema muito mais “limpo” que seu rival, mas faltava-lhe força heurística. E esta característica desejável a uma teoria, ou a um programa de pesquisa, seria pela primeira vez alcançada pelas mãos de Isaac Newton (1643 – 1727), apenas uma geração depois de Galileu. Newton conseguiu elaborar uma teoria que lidava com a dinâmica do sistema heliocêntrico, ou seja, lidava com as forças que *causam* os movimentos conhecidos. E, para a alegria de seu criador, sua teoria conseguia prever matematicamente as trajetórias dos planetas!

Era a famosa Teoria da Gravitação Universal, que acumularia um conjunto fantástico de *evidências* pelos próximos duzentos anos, com explicações e predições tão corretas que muitos achavam ser a verdade final

em relação ao sistema solar. Importante mencionar que a Gravitação universal newtoniana não se aplica apenas ao estudo do sistema solar, mas forma um conjunto de explicações (*programa de pesquisa*, lembra?) aplicáveis às mais diferentes situações físicas, e que tornou possível uma vasta gama de feitos científicos e tecnológicos: do lançamento de satélites espaciais e sondas interplanetárias, até a viagem do homem à Lua!

Um problema que existia por volta dessa época era a questão da trajetória dos corpos celestes: eles giram em círculos perfeitos? Este era um princípio que persistia desde Platão e os antigos gregos. Antes que Newton chegasse com sua Teoria da Gravitação, o astrônomo Johannes Kepler (1571 – 1630) estava trabalhando com várias tabelas contendo os resultados de anos de observação de um outro astrônomo e um dos maiores observadores astronômicos que já existiram, Tycho Brahe (1546 – 1601), tentando chegar a um sistema o mais correto possível para explicar os movimentos descritos nas tabelas. Para se ter uma ideia de como a questão de “quem gira em torno de quem” ainda estava viva, Brahe supunha que a Terra poderia ser o centro do universo. Mas Kepler, além de astrônomo, era um grande matemático, e fez um uso melhor dos dados obtidos por anos a fio por Brahe. Na verdade foi um pouco menos romântico que isso: Kepler aparentemente roubou os dados de seu colega, quando de sua morte! E, pior (para Brahe): Kepler, após muito trabalho matemático, com muitas e muitas tentativas, convenceu-se de que os planetas não giravam em círculos, mas em elipses, com o Sol ocupando um de seus focos (ver figura 2)!

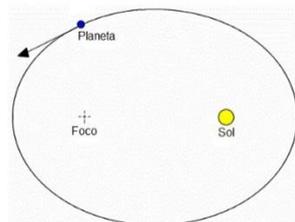


Figura 2 – Kepler propôs que os planetas giram em elipses em torno do Sol, com esse ocupando um dos focos. Na figura, a elipse está bastante exagerada, para melhor visualização.

Adaptado de <http://en.wikibooks.org>

Embora fossem elipses muito próximas a um círculo, para Kepler os dados de Brahe não deixavam dúvidas de que as órbitas tinham certa excentricidade, ou seja, eram elípticas. Kepler se tornou, por isso, um importante nome associado à Gravitação, uma vez que aperfeiçoou o heliocentrismo, levando-o ao grau máximo de precisão possível, à época.

Mas, ainda, persistia a questão: estamos “apenas” com mais uma simples descrição do que é observado?

Segundo a teoria de Newton, os planetas (na verdade todos os objetos) se atraem com uma força proporcional às suas massas, e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Essa lei de atração é quantitativa, ou seja, sabemos exatamente como se dará a atração entre dois corpos, se soubermos suas massas e a distância entre eles. Então, ao tomarmos este princípio, a gravidade, como correto, podemos descobrir novos elementos, como veremos na sequência. Primeiro, aplicando essa lei aos corpos celestes, Newton descobriu que a trajetória executada por eles seria justamente uma elipse, conforme tinha proposto Kepler! Ou seja, sua teoria tinha conseguido “prever” um movimento. Colocamos o prever entre aspas, porque, se Kepler já tinha proposto isso, então é claro que não foi uma predição genuína. Mas a questão é que Newton mostrou que, se os planetas se comportam segundo sua teoria da Gravitação, então suas trajetórias têm que ser elípticas! Isso era uma boa demonstração de sua *força heurística!*

Aquilo que tomamos por correto em uma teoria, aquilo que não estamos dispostos a duvidar por enquanto, é o que podemos chamar de *núcleo firme*. Assim, o núcleo firme da Gravitação universal de Newton é justamente a força de atração gravitacional, ou seja, se vamos usá-la, é porque não estaremos duvidando de sua existência. Naturalmente, não duvidamos por poucos e bons motivos: isso está funcionando, a gravidade está explicando corretamente o que observamos. Logo, não há razões para inicialmente duvidarmos de sua veracidade, até que surja alguma *anomalia*, até que observemos algum dado discordante com o que a teoria prevê. E, mesmo quando surge uma anomalia, o que se procura fazer é alguma proteção do núcleo firme, ou seja, procuramos explicações que não descartem de imediato o “coração da teoria”. As hipóteses que formulamos para tentar explicar uma discordância entre o que é observado e o que a teoria prevê formam o *cinturão protetor*. Isto permite que a teoria sobreviva pelo tempo necessário, até mostrar suas potencialidades (ou se mostrar efetivamente errada!). De fato, se descartássemos as teorias que prontamente demonstram anomalias, então boa parte de nossas teorias não existiria, uma vez que todas elas passaram por crises deste tipo! Pedimos que você releia com muita atenção esse parágrafo!

Por exemplo, no séc. XIX era conhecida uma discordância entre as previsões da Gravitação newtoniana para a órbita do planeta Urano e o que era observado. A teoria, que já tinha mostrado o seu poder na correta descrição dos movimentos da Lua e de nossos planetas próximos, indicava uma trajetória para Urano que era sensivelmente diferente daquela efetivamente observada. Mas os newtonianos não consideraram que a mecânica newtoniana estivesse errada. Como, segundo a Gravitação, os corpos exercem forças entre si, uma possibilidade seria a existência de um

outro corpo celeste que estivesse perturbando gravitacionalmente a trajetória de Urano. Ou seja, uma hipótese ad-hoc. Mas, como já mencionamos, o problema não está na hipótese ad-hoc em si, e sim na impossibilidade de testá-la. Pois daí estaríamos apenas ajustando a teoria, sem maiores garantias de veracidade. Mas se a hipótese puder ser testada, temos então elementos extras de decisão!

De fato, foi o que foi feito por volta de 1845, quando astrônomos propuseram que a referida anomalia podia ser resultado de um outro planeta, nunca antes observado. Esta hipótese permitiu calcular a trajetória deste suposto planeta e, a partir de sua influência gravitacional no planeta Urano, verificar se este novo dado resolvia o problema: a anomalia na verdade era devida ao desconhecimento da existência do planeta hipotético. E, uma vez computada esta nova informação, a anomalia simplesmente não existiria mais!

Sem alterar o núcleo firme da teoria, esta suposição resolveu o problema, com um pequeno e decisivo detalhe: afinal este hipotético planeta existe? Pois caso contrário, teremos apenas ajustado a teoria, como os antigos gregos. Mas o planeta estava lá (na verdade ainda está)! A previsão do planeta Netuno foi, deste modo, uma demonstração da força heurística da teoria da Gravitação e, sua efetiva descoberta, uma grande vitória da teoria. Podemos então dizer que a teoria da Gravitação foi “provada”? Vamos pensar um pouco nessa questão.

Uma maneira de julgar uma teoria científica é avaliar se ela é falseável, ou seja, se oferece maneiras de ser testada, de ser falseada. Assim, se digo que todos os seus colegas na classe usam caneta azul para escrever, essa afirmação é científica na medida em que pode ser testada (neste caso facilmente). A afirmação estará falseada se observarmos que ao menos um colega não usa caneta azul. Mas imagine que verificamos as canetas de apenas alguns de seus colegas e, até este momento, verificamos que todas são azuis. Podemos afirmar, somente com as constatações até o momento, que efetivamente todas as canetas da classe são azuis? Parece claro que não! Mas se descobrimos que todas realmente são azuis e que, por algum motivo que não vamos nos deter, cada classe examinada demonstra o mesmo padrão? E que as próximas escolas examinadas também demonstram o mesmo? Talvez, ao verificar a próxima caneta, já afirmes com certa convicção: será azul! E, ao constatar isso, o que temos? Uma prova de que todas as canetas de todas as escolas são azuis? Afinal, quantas canetas devemos observar para afirmar que todas são azuis? A cada nova caneta azul, portanto, temos uma confirmação, uma *corroboração*, da hipótese “todas as canetas são azuis”. Isso não é, portanto, uma prova de que todas realmente são azuis: percebemos que essa hipótese terá problemas assim que a primeira caneta preta, ou vermelha, ou de outra cor aparecer.

Se realmente confirmamos uma predição, como a existência de Netuno, então isso não será um prova definitiva. Isso será tão só (o que é muito!) uma *corroboração*, ou seja, um dado confirmante para a teoria. Neste modo de ver, jamais poderemos falar em provas categóricas. Mas apenas em provas circunstanciais, ou seja, evidências que nos trazem certa dose de confiança na teoria. Mas, se por um lado uma teoria não pode nunca ser indiscutivelmente provada, por outro lado uma refutação contundente pode destruí-la!

É bom enfatizar que esses são (bons) princípios heurísticos, mas que na prática temos complexidades que precisam ser analisadas com discernimento e cuidado. Sempre é possível trazer uma teoria “de volta dos mortos”. Tudo é uma questão de circunstâncias. Mas, de modo geral, boas teorias devem ser corroboradas e resistir à refutação. O que seria o análogo de que uma teoria (ou programa de pesquisa) deve ter *força heurística*. Enquanto a teoria estiver nessa condição, dizemos que ela é *progressiva*. Uma teoria progressiva é justamente o que se deseja na ciência. Que não só explique os fenômenos conhecidos, mas também permita a descoberta de novos. Repetimos, pois pode ter passado despercebido: que também permita a *descoberta* de novos fenômenos. Ou seja, uma teoria progressiva deve prever dados novos, e estes *devem* ser corroborados. É claro que de nada adianta uma teoria prever um cem número de fenômenos, se nenhum deles puder ser confirmado!

Mas é natural supor que uma teoria, por mais sucesso explicativo e preditivo que tenha apresentado, possa chegar a um momento onde não consiga manter tal progressão, entrando em uma fase de *degenerescência*, quando seu cinturão protetor não consegue mais preservar o núcleo firme, devido ao acúmulo de hipóteses ad-hoc não posteriormente confirmadas (sim, você já sabe: releia esse parágrafo!). E nem mesmo a Teoria da Gravitação de Newton poderia escapar disso! É o que discutiremos em nosso próximo encontro.

Questões para discussão

- Para você, as explicações científicas são as únicas em relação à natureza? Se não são, então o que elas têm de diferente que a caracterizam como “científicas”?
- Na sua visão, por que um mesmo fenômeno pode fazer com que os cientistas cheguem a diferentes explicações? Para você isso é normal?
- Explique, com suas palavras, uma forma de ver a atividade científica, utilizando os conceitos-chave *força heurística*, *predição*, *núcleo firme*, *cinturão protetor* e *anomalias*. Estes termos não precisam aparecer nesta ordem, naturalmente.
- Pelo que você leu no texto, qual a diferença entre *prova* e *corroboração*? Dê alguns exemplos.

→ Explique, com suas palavras, parte do último parágrafo do texto, transcrito abaixo:

É natural supor que uma teoria, por mais sucesso explicativo e preditivo que tenha apresentado, possa chegar a um momento onde não consegue manter tal progressão, entrando em uma fase de degenerescência, ou seja, quando seu cinturão protetor não consegue mais preservar o núcleo firme, devido ao acúmulo de hipóteses ad-hoc não posteriormente confirmadas.

Texto 3 – A gravidade revisitada

A Teoria da Gravitação Universal tinha mostrado a que veio ao predizer a existência de um novo planeta. Sua *força heurística* fez com que se tornasse o modelo padrão das explicações celestes, e a esta altura o geocentrismo estava sendo enterrado bem fundo. Se nos séculos XVIII e XIX algum astrônomo fosse questionado sobre a veracidade da teoria da Gravitação de Newton, é muito provável que ele sorriria ao questionador, e nem se desse ao trabalho de responder. A confiança na teoria era total. O que mais podemos exigir? Seus resultados batiam maravilhosamente bem com o que era observado, além de permitir predições igualmente corretas.

Mas, ao passar dos anos, com novas e mais precisas observações, os astrônomos descobriram que, do mesmo modo como tinha acontecido com o planeta Urano, o planeta Mercúrio estava apresentando uma trajetória levemente diferente daquela prevista usando a Gravitação newtoniana. É claro que o mais natural seria supor que, também à semelhança do planeta Urano, esta anomalia fosse devida a um outro corpo celeste, não devidamente computado, que estaria perturbando gravitacionalmente Mercúrio. Chegaram mesmo a batizar este novo planeta: Vulcano (que mais tarde seria utilizado por Hollywood, na série Jornada nas Estrelas). Ou seja, o cinturão protetor estava trabalhando, ao preservar a teoria da Gravitação, exatamente como aconteceu no caso do planeta Urano. Mas, como discutimos, para que a teoria continue se mostrando progressiva, essa hipótese (a existência de Vulcano) precisa ser devidamente confirmada. Cadê esse planeta?

Por acaso você se lembra de algum planeta nas proximidades de Mercúrio, além de Vênus? Pois é. Vulcano aparentemente não existe⁵¹! Esta anomalia perturbou os cientistas do final do século XIX, ainda mais quando Vulcano não foi encontrado. E agora? Conforme comentamos anteriormente, uma teoria só é substituída se houver uma outra mais progressiva. E, até este momento, essa teoria não existia. Logo, é natural que a Gravitação universal tenha continuado a ser a explicação padrão para o sistema solar. Mas aqueles astrônomos de antes, que responderiam com um sorriso ao questionamento

⁵¹ Aqui temos um ponto interessante: será possível confirmarmos a inexistência de algo? A resposta é sim! Ao menos, em um sentido de corroboração. Em geral, diz-se que não podemos demonstrar a inexistência de algo, mas isso quando enunciado de forma abrangente: realmente não se pode, logicamente, demonstrar a inexistência de planetas com vida além da Terra, por exemplo. Isso é apenas uma maneira diferente de dizer que não conseguimos falsear essa hipótese, de que estes planetas não existem. Mas podemos demonstrar a inexistência de algo quando colocado dentro de limites bem definidos: é fácil confirmar a inexistência de uma girafa em seu banheiro neste momento. Viu? Ela simplesmente não está lá (espero!). O mesmo ocorre com Vulcano: sabíamos onde procurar, e, como agora sabemos, nenhum planeta foi encontrado. O que, mais uma vez, não deixa de ser uma refutação: algo foi previsto e não confirmado.

sobre a veracidade da Gravitação newtoniana, estariam mais reticentes agora. Nesta época, teriam que esperar até que um menino nascido em 1879 completasse uns 35 anos, para resolver o problema.

Quando Albert Einstein (1879 – 1955) terminou sua graduação no Instituto Politécnico de Zurique em 1900, não conseguiu rapidamente um cargo acadêmico, como queria, e não publicou nada significativo nos anos seguintes. Teve que aceitar um emprego burocrático em um escritório de patentes e, como ele mesmo mais tarde comentaria, foi o melhor que lhe podia acontecer. Ali, analisando pedidos de registro de patentes, teve tempo suficiente para pensar nos problemas físicos que lhe interessava e, em 1905, estes pensamentos resultaram em quatro artigos que mudariam sua vida em poucos anos. Um destes artigos versava sobre a “eletrodinâmica dos corpos em movimento”, que em seguida seria batizada como relatividade restrita. Esta teoria postulava que a velocidade da luz era constante, independentemente do referencial, e que as leis da física eram as mesmas para todos os referenciais inerciais (que se movem uns em relação aos outros com velocidade constante).

Percebendo rapidamente a restrição desta teoria (por isso relatividade *restrita*), uma vez que só se aplicava para sistemas que se movem relativamente a velocidades constantes, Einstein passou os dez anos seguintes em busca de uma generalização que permitisse estudar também sistemas acelerados. Temos assim a relatividade *geral*, que, uma vez finalizada em 1915, iria produzir pela primeira vez na história um cientista “pop-star”. Entre outros, esta teoria lidava com um espaço geométrico, que se deforma com a presença de massa. Esta deformação está diretamente associada ao que conhecemos como gravidade, e por isso a relatividade geral é a teoria einsteiniana da Gravitação! Os propósitos iniciais de Einstein giravam em torno de inconsistências entre dois grandes campos da física, o eletromagnetismo e a mecânica newtoniana, que não iremos aqui analisar. Mas ao generalizar sua teoria, Einstein teve alguns lampejos que mudariam sua vida, e mudariam os rumos da ciência!

Em 1907 Einstein ainda trabalhava no escritório de patentes, quando teve uma ideia: “quando uma pessoa se acha em queda livre, não sente o próprio peso. Eu estava impressionado. Esse simples experimento intelectual causou-me uma impressão profunda. E me levou à teoria da Gravitação”. Ou seja, como uma pessoa em queda livre está acelerada numericamente de acordo com a gravidade local, ela deixa de sentir diretamente a força da gravidade. Isso levou Einstein a formular seu *princípio da equivalência*, ou seja, “se a aceleração pode cancelar a gravidade e produzir a ausência de peso, então a aceleração em si, na ausência de gravidade, pode simular a gravidade [...] indistinguível da gravidade [do planeta]”.

Vamos com calma! Como assim? Primeiro, imagine uma situação onde um móvel, uma nave, por exemplo, esteja longe de um campo

gravitacional. Os objetos em seu interior estarão livres da influência de forças gravitacionais dos planetas, logo estarão “flutuando” (o mais correto seria dizer “mantendo o seu estado de movimento”, segundo a primeira lei de Newton). Mas imagine que essa nave comece a acelerar. O que acontecerá com os objetos em seu interior? Eles serão “comprimidos” contra o fundo da nave (em relação ao seu movimento), “sentindo” constantemente uma força (ver figura 1).

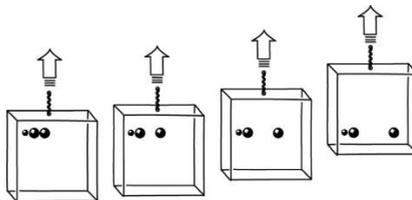


Figura 1 – Objetos no interior de um móvel acelerado

Se um móvel acelera para cima, então os objetos em seu interior “caem” para o fundo, do mesmo modo que se estivessem sujeitos a uma força gravitacional.

Fonte: <http://www.pitt.edu/~jdnorton>

É exatamente o que ocorre quando você está sentado no assento do carro, e esse começa a acelerar: você é pressionado contra o encosto do assento (embora o mais correto seja dizer que o encosto do assento é que está pressionando suas costas: você apenas está mantendo o seu estado de movimento, enquanto o carro o está obrigando a mudar esse estado). Até aqui nada demais, você aprendeu isso nas aulas de dinâmica. Mas se imaginarmos que a nave está se movimentando com uma aceleração igual à da gravidade terrestre, então os objetos no seu interior “sentirão” como se estivessem sujeitos à gravidade (ver figura 2)! Isso significa que essas situações são equivalentes, ou seja, em ambas tudo ocorre do mesmo modo. Daí o princípio da “equivalência”.

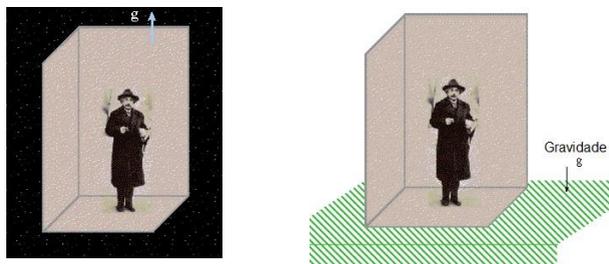
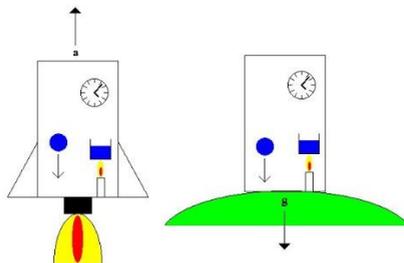


Figura 2 – O princípio da equivalência

O tio Alberto sente a mesma coisa, estando em um móvel acelerado igual à g , ou estando “parado” na superfície terrestre.

Adaptado de <http://www.astro.cornell.edu>

Importante mencionar que, segundo Einstein, isto não significa apenas que sentiremos o mesmo tipo de “compressão” gravitacional. Todos os fenômenos físicos se darão do mesmo modo, estando em uma ou outra situação (ver figura 3)!

**Figura 3 – O princípio da equivalência, novamente**

Todos os fenômenos físicos se dão da mesma maneira, seja na superfície terrestre ou em uma nave com a mesma aceleração da gravidade terrestre.

Adaptado de <http://ion.uwinnipeg.ca/~vincent>

Para começarmos a falar sobre as origens da gravidade, segundo a teoria de Einstein, falta um pequeno e decisivo complemento: se emitirmos um feixe de fótons (luz!) de uma parede a outra de nossa nave acelerada, o que ocorre? Enquanto os fótons se dirigem em direção à outra parede, a nave continua acelerando e, mesmo a velocidade do feixe de luz sendo absurdamente alta ($3 \cdot 10^8$ m/s) em relação à nave, é o que basta para que ele não atinja o outro lado exatamente na mesma altura de onde saiu. Isso significa que o feixe de luz é curvado (ver figura 4)! Na verdade isso não era para ser muito surpreendente, afinal é o que ocorre quando também se joga uma bola, por exemplo. Mas a bola arremessada apresenta uma curvatura muito maior, devido à velocidade de lançamento não ser tão alta quando a da luz. No caso da luz, é claro que esta curvatura deveria ser muito menor, devido à sua velocidade altíssima.

Mas se a luz se curva na nave acelerada e, pelo princípio da equivalência, nessa nave tudo acontece da mesma maneira que se estivesse parada na superfície da Terra, então a luz deve ser curvada pela gravidade! No espaço “vazio”, longe de qualquer corpo celeste, um feixe de luz se propaga de forma retilínea, naturalmente. Mas se a luz passa perto de um

corpo celeste, ela será curvada, devido à gravidade desse corpo. Isso implica em que o espaço vazio é “plano”, e a luz se propaga nele de forma retilínea, e o espaço nas proximidades dos corpos é “curvo”, e a luz se curva ao se propagar por ele! Na verdade aqui existe um grande complicador que não iremos destrinchar: Einstein mostrou que a luz, ao ser a maior velocidade possível para qualquer coisa⁵², só pode se curvar se o espaço por onde se propaga assim o fizer. Esta é uma das essências da relatividade geral, e suas entranhas matemáticas são tão complicadas que, na época em que Einstein estava pensando nela, poucos cientistas conseguiam acompanhá-lo! Por isso, é claro que nossa discussão aqui se limita aos aspectos mais qualitativos de sua teoria, mas que permitem uma ilustração adequada da essência da Gravitação de Einstein.

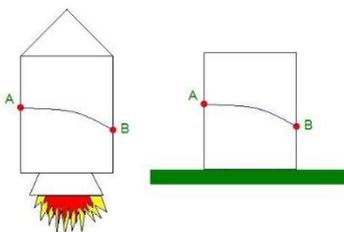


Figura 4 – O princípio da equivalência (é, novamente)

O movimento acelerado do foguete faz com que o feixe de luz, ao sair de A, “fique para trás”, chegando do outro lado do foguete em um ponto mais abaixo, B. Pelo princípio da equivalência, o mesmo deve ocorrer em um campo gravitacional.

Fonte:

<http://ibphysicsstuff.wikidot.com/general-relativity>

Einstein tinha então conseguido produzir uma teoria da Gravitação distinta da de Newton. A Gravitação universal de Newton se baseia na força de atração entre os corpos, a conhecida força gravitacional. Essa força, segundo Newton, atua instantaneamente entre os corpos celestes (entre todos os objetos), independentemente da distância entre eles. Ou seja, segundo a Gravitação newtoniana, se o Sol deixasse de existir em um certo instante, por exemplo, os planetas imediatamente “sairiam pela tangente”, deixariam de “sentir” a gravidade do Sol instantaneamente.

⁵² É a maior velocidade em limite, ou seja, seu valor não pode nunca ser atingido! Somente a luz se propaga na velocidade da luz.

Mas Einstein, com sua nova maneira de ver a gravidade, sugeria algo diferente: os corpos não são propriamente atraídos por uma força que atua à distância, mas sim devido à curvatura do espaço (ver figura 5)! E, como nada pode ser mais rápido do que a luz, essa curvatura também leva um tempo para “comunicar” a gravidade entre os planetas (na verdade Einstein mostrou que essa “velocidade da gravidade”, é a mesma da velocidade da luz!). Deste modo, na mesma situação do desaparecimento do Sol descrita acima, os planetas não sairiam imediatamente pela tangente, pois o resultado do desaparecimento do Sol precisaria chegar até os planetas, o que leva um tempo (no caso da Terra, pouco mais de oito minutos). Essa velocidade da gravidade é justamente devida à deformação do espaço produzida pelo Sol, que precisa chegar até os planetas como ondas produzidas por uma pedra jogada em um lago. Era uma teoria distinta da de Newton, com uma forma bem diferente de ver a gravidade. Só faltava então... testá-la.

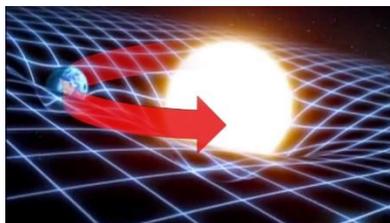


Figura 5: A curvatura do espaço

Para Einstein, a Gravitação é resultado da curvatura do espaço produzida pelos corpos. No caso do Sol, os planetas não “sentem” uma força instantânea a distância, mas apenas acompanham essa curvatura em seu movimento de translação.

Fonte: <http://www.cosmotography.com/>

Um primeiro sucesso desta teoria de Einstein foi resolver o problema com a órbita de Mercúrio. Como vimos, a Gravitação newtoniana produzia valores discordantes com o observado, e Vulcano não resolveu o problema porque... não existe. Essa teoria tinha entrado então em degeneração, que é quando suas hipóteses não são corroboradas. Mas ao atacar o problema com a relatividade geral, Einstein verificou que sua teoria produzia os resultados corretos para a órbita de Mercúrio! E, claro, também fornecia os resultados para os casos onde a Gravitação newtoniana já tinha acertado.

Mas a relatividade geral, a Gravitação *einsteiniana*, não pararia por aí. A correta órbita de Mercúrio foi uma demonstração inicial da força heurística da teoria, mas como já discutimos, ela previa mais que isso. Como testar sua predição da curvatura de um raio de luz por um campo gravitacional? Nenhum fenômeno terrestre ajudaria, uma vez que o campo gravitacional da

Terra produziria um efeito praticamente imensurável, de tão pequeno. Mas e quanto à gravidade de algo muito mais massivo? Que tal o Sol?

Einstein tinha calculado que a luz de uma estrela distante, ao passar pelo Sol, seria desviada, produzindo uma diferença mensurável para a posição daquela estrela. Ou seja, sua posição, em uma noite limpa, seria levemente diferente de quando a víssemos nas proximidades do Sol, em um dia ensolarado (ver figura 6).

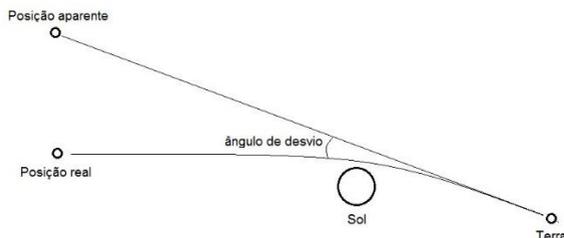


Figura 6 – Deflexão da luz de uma estrela distante ao passar nas proximidades do Sol – O ângulo de desvio é ocasionado pela deflexão da luz da estrela, que passa a ser vista no céu em uma posição aparente, distinta da posição real, medida com a ausência do Sol. (A figura é uma simplificação geométrica e está fora de escala para melhor visualização do fenômeno).

Mas temos um problema: quantas estrelas você já viu perto do Sol no meio do dia? Pois é. A luz do Sol espalhada pela atmosfera terrestre ofusca a luz das outras estrelas, e é por isso que não costumamos vê-las de dia. Como então medir a diferença de posição descrita acima? Sugerimos que você pense um pouco, antes de ver a resposta no próximo parágrafo.

Pronto?

Um eclipse. Vemos estrelas em um eclipse total do Sol! E Einstein calculou que a diferença de posição poderia ser medida por equipamentos aqui na Terra! Mesmo sendo um desvio muito pequeno, já em 1914 houve tentativas para medi-lo, que não foram bem sucedidas. Era a primeira guerra mundial, e Freundlich, um dos astrônomos que queria verificar o resultado de Einstein, teve sua missão frustrada ao ser confundido como espião, quando chegou ao local onde um Eclipse ocorreria. Cinco anos depois o mundo estava mais calmo, e o teste pode ser feito.

Para ser corroborado, o valor previsto por Einstein deveria ser observado, enquanto um valor diferente traria sérios problemas para a teoria. Mas o valor previsto foi efetivamente constatado e, quase que da noite para o dia, Einstein se tornaria um dos nomes mais pronunciados ao redor do mundo.

Foi uma grande *corroboração* da teoria da relatividade geral, que passou a ser conhecida mundialmente como uma nova teoria da Gravitação.

Em 1914, quando da primeira tentativa para a medição da deflexão gravitacional da luz, havia um erro no valor calculado por Einstein, da ordem da metade do correto⁵³. Se a expedição de Freundlich lograsse êxito, o valor medido seria o dobro do previsto por Einstein, e a relatividade estaria aparentemente refutada. Estaria mesmo? Em que medida um resultado negativo refuta uma teoria? Na verdade, dificilmente uma teoria seria abandonada com base em apenas um caso negativo. Primeiro, porque as anomalias e as tentativas de resolvê-las são parte essencial da atividade científica. Mas também porque existem elementos mais sutis, muitos inclusive de cunho emocional por parte do cientista.

E, no contexto das descobertas, momento em que o cientista está pensando em suas teorias, existe um amálgama de procedimentos dificilmente enumeráveis como uma receita de bolo. Seus métodos nunca foram claros a ponto de podermos ter uma cartilha chamada “o método científico”. Conversaremos sobre isso em nosso próximo encontro!

Questões para discussão

- Explique, com suas palavras, o que é o *princípio da equivalência*.
- Qual a diferença essencial entre a gravidade de Newton e a gravidade de Einstein? Comente.
- De que maneira foi testada a Gravitação einsteiniana?
- Usando os conhecimentos discutidos até aqui em relação à atividade científica, explique porque a Gravitação einsteiniana é considerada superior à Gravitação newtoniana.
- Pelo que você leu e discutiu até agora, como um experimento se encaixa na atividade científica? Ou seja: qual o seu papel na investigação de uma teoria? Um experimento serve para provar alguma ideia? Comente!

⁵³ Na verdade este valor incorreto é o que se obtém se utilizarmos a mecânica newtoniana para se determinar a deflexão gravitacional de algo que se movimenta à velocidade da luz (o que, segundo Einstein, não é possível – só a luz se propaga na “velocidade da luz”). Ou seja, mesmo com a Gravitação newtoniana é possível prever que a luz se curvará em um campo gravitacional. Mas esse valor não é o efetivamente constado, ou seja, a previsão usando a mecânica newtoniana não oferece o resultado efetivamente medido. O que é mais um exemplo de sua degenerescência.

Texto 4 – Um pouco mais de lenha

Vimos que uma das maneiras de se ver o funcionamento da ciência sugere que uma teoria científica deve ser testável, um teste positivo é uma corroboração (e nunca uma prova final), e um teste negativo é potencialmente refutador desta teoria. Ainda, uma teoria deve ter *força heurística*, ou seja, deve prever novos fenômenos posteriormente corroborados. As anomalias são atacadas por hipóteses auxiliares que preservam o núcleo firme de um ataque prematuro, e uma teoria só é abandonada quando não consegue manter sua força heurística frente a uma outra, que a engloba com vantagens (você já sabe o que fazer!). Estas são formas, digamos, otimistas de ver a atividade científica. Mas podemos dizer que são os melhores guias heurísticos que temos.

Mas, assim como uma boneca russa, há diversos níveis de análise possíveis e, quanto mais próximos estamos do contexto da descoberta científica, mais complicadores aparecem, e nossos guias heurísticos parecem se aproximar mais de *prescrições*, que propriamente de *explicações*. E, se alguém menos inclinado a uma atividade científica bem ordenada e racional quiser estudar a questão, certamente encontrará elementos que endossem sua “anarquia” em relação a um “método científico” bem definido, como uma cartilha de passos a serem seguidos para se construir o conhecimento científico.

Por exemplo, Galileu utilizou-se do telescópio, recém aperfeiçoado por ele, para sustentar suas então revolucionárias concepções copernicanas a respeito de nosso sistema solar. Mas nem mesmo Galileu sabia como o telescópio funcionava exatamente, e podemos pensar que seus críticos tinham razão em não aceitar este instrumento como prova categórica. Qual a garantia de que as imagens borradas e pouco resolutas deste equipamento correspondessem a objetos reais? E ainda havia o problema de se ver algo que os cientistas nunca tinham visto: como saber o que é real e o que é uma distorção de imagem produzida pelo instrumento, se não sabemos como é de fato o objeto visto? Pense um pouco a respeito.

Isto não é imediatamente óbvio quando se analisa o evento hoje, do ponto de vista privilegiado de quem conhece os princípios óticos por detrás do funcionamento de um telescópio, e sabe, pela história, e mesmo por experiência própria, que um telescópio amplia os objetos distantes. Devemos fazer um exercício mental para reconstruir os problemas associados ao contexto da época, para perceber que Galileu não seguiu um método científico bem definido, de regras explícitas e facilmente identificáveis.

Mas sua confiança no sistema heliocêntrico o fez manter sua *propaganda* de que este sistema era correto. Podemos sugerir então que os

defensores de uma teoria se lançam a uma campanha de *convencimento*. Se seus argumentos funcionarem, tão melhor para a teoria.

Como vimos, o fracasso da expedição de 1914 foi um golpe de sorte para Einstein. Isto permitiu que ele descobrisse seu erro a tempo, em 1915, e então comunicasse o valor correto do ângulo de deflexão para as equipes de astrônomos interessados na questão. Em 1919, duas equipes, uma mandada para Sobral, no nordeste brasileiro, e outra para a ilha de Príncipe, na costa da África, regiões por onde passaria a sombra do eclipse, tinham então em mãos o resultado correto para testar.

A expedição da África foi uma verdadeira provação para Arthur Eddington, um dos astrônomos que queriam corroborar a teoria de Einstein. Ele e sua equipe tiveram que transportar equipamentos pesados (e caros) por selva adentro, na ilha de Príncipe, e trabalhar sob condições bastante indesejáveis para pesquisadores acostumados ao conforto da universidade. Para melhorar ainda mais os ânimos, o tempo estava bastante nublado, e mal se podia ver o Sol, quanto mais as estrelas desejadas quando do momento do eclipse. Tudo levava a crer que a expedição seria um fracasso, pois as chapas de fotografia, colocadas na ocular de um telescópio para este fim, precisavam de estrelas nítidas no céu.

A equipe no Brasil estava com melhor sorte. O céu estava limpo, e as fotografias puderam ser feitas sem maiores contratemplos (ver figura 1). Os dados só mais tarde puderam ser analisados e ser de conhecimento de Eddington (na época não tinha “WhatsApp”!), e esse, apreensivo, teve que contar com seus resultados sem saber inicialmente se o pessoal no Brasil estava em melhores condições. Sua equipe obteve algumas poucas chapas visíveis das estrelas nas proximidades do Sol eclipsado. Estas chapas só puderam ser obtidas no último momento, quando então o céu pareceu querer ajudar.

O resultado de Einstein estava lá, de acordo com as previsões da relatividade geral. Ao menos é o que garantiu Eddington. Outras pesquisas não apresentaram uma conclusão tão clara, mostrando inclusive uma grande dispersão em seus resultados, mas os resultados da ilha de Príncipe (e as notícias propaladas a partir de então) foram suficientes para colocar o nome de Einstein nos maiores jornais do mundo, o que passaria a ser frequente nos anos seguintes. Afinal era a primeira vez, em quase duzentos e cinquenta anos, que um cientista era tido como o novo Newton. A partir daí o grande público estava muito mais interessado em presenciar os eventos onde Einstein era convidado, do que se preocupar com dispersões nas medições de astrônomos muito menos conhecidos, e que não eram tão simpáticos quanto o tio Albert.

Aos olhos mais anarquistas, parece claro que Eddington promoveu uma *propaganda* da relatividade para além de suas reais possibilidades de teste. Por exemplo, após suas medições com o eclipse, Eddington organizou

uma verdadeira campanha de popularização de seu “grande feito”, sendo que somente o *The Times*, um dos mais influentes jornais britânicos, publicou diversos artigos sobre o eclipse de 1919, por meses a fio. Ao aceitar prontamente os seus dados, ele procurava uma melhor concordância com o que se queria, ou seja, fez com que os dados de seu experimento respondessem de modo seletivo aos seus anseios. Naturalmente, não se podia ignorar que o sucesso do pensamento de Einstein em outras explicações (como o periélio de Mercúrio) permitia uma grande confiança na teoria, mas isso não deveria depor a favor de uma aceitação acrítica de dados duvidosos.

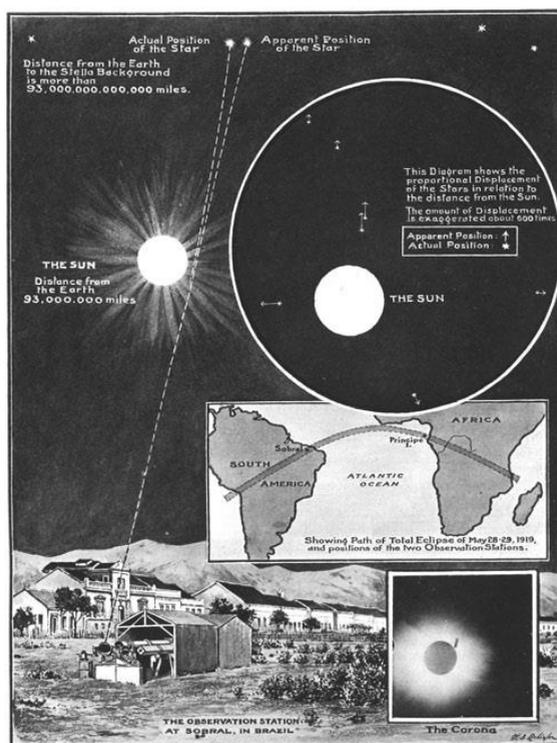


Figura 1 – A expedição em Sobral

Ilustração do jornal *Illustrated London News*, sobre as medições realizadas em Sobral, “in Brazil”. A figura é uma interessante montagem (o que chamamos hoje de “infográfico”) mostrando alguns aspectos do experimento, incluindo o mapa que indica por onde passou a sombra do eclipse e uma chapa fotográfica que indica o desvio previsto por Einstein.

Fonte: <http://www.astro.caltech.edu/>

Na década de 1920, Einstein e muitos (talvez nem tanto) colegas estavam convencidos da superioridade da relatividade, e isso, aliado à “superação de Newton” em voga nas manchetes dos jornais, fabricou um Einstein popularmente muito famoso, e esse passou a viajar pelo mundo, tornando-se praticamente um garoto propaganda de diversas causas. O Brasil, lugar onde suas teorias tinham sido testadas (e supostamente comprovadas), não podia ficar de fora.

Einstein visitou o país em 1925, e com sua despreocupação característica, disse que suas perguntas “foram respondidas pelo ensolarado céu do Brasil”. Será que Einstein conhecia efetivamente os detalhes das medições que procuravam demonstrar a validade de suas próprias ideias? Se sim, de que maneira pode-se conciliar um cientista que almeja buscar a verdade última da Natureza com uma, ao menos aparente, despreocupação em relação às capacidades de experimentação que supostamente atestam aquela? Será só parte da ingenuidade a que por vezes foi acusado no campo político?

Outro ponto digno de nota é que Eddington tinha uma confiança na relatividade tão grande quanto Einstein (se não mais) e, não menos importante, recursos tanto financeiros quanto de influência na academia. Isto possibilitou uma propaganda bastante eficaz a favor da relatividade, mesmo com dados duvidosos. De fato, entre 1922 e 1952 houve no mínimo cinco observações de eclipses com o propósito de medir a deflexão da luz, e o que mais ficou evidente destas pesquisas foi como este tipo de medição é pouco acurada, com grande dispersão em seus resultados. Como então Eddington poderia estar tão certo do sucesso de suas medidas?

A expedição no Brasil encontrou um céu mais limpo do que em Príncipe, e conseguiu obter mais estrelas visíveis do que a equipe de Eddington. Mas suspeita-se que a “sentença final” proferida pelos cientistas envolvidos ignorou deliberadamente alguns resultados que se distanciavam mais da média esperada, incluindo alguns que estavam mais de acordo com a previsão newtoniana! A visão anarquista diria, pois, que isso é exatamente o que se faz na ciência, cuja causa é ganha devido a quem advoga, e não à justiça!

Mas, naturalmente, devemos relevar com cautela esta forma de ver a atividade científica, ao mesmo tempo em que deveríamos estar abertos a qualquer ideia nova, por mais discordante que seja em relação ao que acreditamos. Mas, cuidado! Como diria Carl Sagan, um cientista e grande divulgador da ciência, “devemos ter a mente aberta, mas não tão aberta ao ponto de deixar o cérebro cair”!

É inegável o sucesso da relatividade geral de Einstein, o coração do agora chamado modelo padrão da cosmologia, que continua demonstrando sua força heurística. Deste programa de pesquisa vieram as previsões de um universo em expansão, e da possibilidade de existência de estrelas colapsadas

denominadas Buracos Negros, entre outros. Ou seja, além de explicar anomalias não devidamente acomodadas no programa anterior (newtoniano), como o caso da precessão do periélio de Mercúrio, este programa produziu um novo conjunto de previsões, um *excesso de conteúdo corroborado* que o torna uma das teorias de maior sucesso da história da ciência.

Mas os resultados dos experimentos sobre a deflexão da luz não deixaram de ser contestados. Por mais que possam indicar uma deflexão, parece não haver ainda um consenso de como esta deflexão corrobora, efetivamente, as previsões da relatividade de Einstein. Embora o modelo padrão da cosmologia continue sendo (com excelentes razões) nosso melhor conjunto de explicações a respeito do universo, naturalmente existem aqueles que, por motivos humanos vários, apegam-se a outras possibilidades, a outras explicações, a outras justificativas. Talvez esses possam ficar mais (ou menos) satisfeitos com novos e melhores dados, que mostrem a deflexão prevista pela Gravitação einsteiniana com muito menos dispersão, deixando poucas margens para resistências.

A agência espacial europeia (ESA) está com uma missão científica em franco andamento que, talvez, traga um fim à questão. A Missão Gaia (google-it!) pretende, entre outros, obter medidas muito mais precisas da deflexão da luz do que já foi possível antes. É o tipo de pesquisa que pode trazer um desfecho para a questão. Talvez só aí seja possível olhar as coisas em retrospecto, e falar da época onde a deflexão gravitacional era uma controvérsia. Mas existe a possibilidade de nem mesmo assim haver um consenso. Sempre é possível construir novas explicações para mostrar como os dados supostamente concordantes são, na verdade, concordantes com uma explicação alternativa, que produz os mesmos resultados, mas sob um contexto diverso. E os resultados do experimentos sempre podem ser “relativizados” ou mesmo postos em dúvidas. E pelos cientistas! Afinal, sempre é possível que uma medida esteja equivocada, e a teoria defendida contra as evidências esteja correta. De fato, isso aconteceu algumas vezes ao longo da ciência.

Embora não seja possível definirmos um método científico onipotente, que funcione em todos os casos, isso não significa que a ciência funciona às cegas. Isto seria ir de um extremo ao outro, ambos bastante equivocados. Significa, isto sim, que não conseguimos enumerar os passos da atividade científica como um conjunto de passos infalíveis que levam necessariamente à descoberta. Mas isso não impede que tracemos esboços possíveis para alguns elementos dessa atividade, como os que discutimos aqui. A ciência é uma atividade essencialmente humana e, como tal, sujeita a complexidades várias. Mas ao conhecermos alguns aspectos dessa atividade, devidamente fundamentados em episódios da evolução da ciência,

conseguimos obter ao menos um quadro mais compromissado com o que se faz em ciência.

Não é difícil ver que experimentos, ao menos muitos deles, têm um papel controverso, e as tentativas de se “provar” categoricamente uma teoria são atitudes românticas que não parecem encontrar muitos fundamentos no desenvolvimento da ciência. Contudo, não se pode (ou não se deveria) pensar que não se faz ciência indo à Natureza. O que não se pode (ou não se deveria) é achar que isso é tudo o que basta. Os instrumentos de medida e os dados obtidos com esses possuem grande importância para conhecermos o mundo ao nosso redor, mas eles ocupam um papel que precisa ser devidamente contextualizado. Em geral, o cientista já espera um determinado resultado ao realizar um experimento, cujos resultados serão utilizados basicamente para testar suas hipóteses iniciais. Mas mesmo um resultado negativo pode fazer o cientista se manter em sua linha de pesquisa, e somente com o andar da carruagem a comunidade científica irá se decidir por uma ou outra explicação. E, ao longo deste processo, todas as características humanas terão seu lugar, fazendo do cientista mais um detetive sem um rumo definido do que propriamente um seguidor de uma receita infalível que leva ao sucesso explicativo.

Com toda a carga humana da atividade científica, Einstein, afinal, talvez não tenha sido nada ingênuo. Ele provavelmente sabia que andamos constantemente em uma afiada lâmina dividida entre a argumentação lógica e a propaganda. Contudo, fiquemos atentos às tentativas de reduzir a ciência a um conjunto de apostas, de simples tentativa e erro. Os cientistas podem discordar em alguns aspectos, mas, em seu todo, a ciência acaba sendo a instituição mais autorregulada que existe, justamente pelos calorosos embates entre seus participantes, fazendo com que as teorias mais poderosas sobrevivam por méritos próprios. Mesmo a ciência apresentando caminhos erráticos, os resultados de suas predições em muitos casos são tão acurados que a fazem ser a máquina mais poderosa de se construir boas explicações para a Natureza.

Apêndice K - As apresentações eletrônicas – versão piloto

Slides 1 - Um despertar na Grécia

Elementos da Natureza da Ciência
em um Estudo com a Gravitação

George Smoot
Nobel de Física de 2006



(...) a cosmologia vive um maravilhoso período de criatividade, uma idade do ouro em que novas observações e novas teorias estão ampliando espantosamente nosso entendimento - e perplexidade - do universo. *Mas essa idade do ouro atual só pode ser bem entendida à luz do que aconteceu antes* (Smoot, 1995, pg. 12).

Um despertar na Grécia



Séc. VI a.c.

A separação entre a natureza
e o sobrenatural



Explicações "lógicas" para os fenômenos naturais



Século VI a.c.



Aristarco



(310-230 a.c.)



Aristóteles

(384 - 322 a.c.)

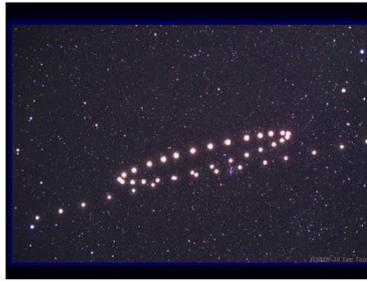
Platão

(427 - 347 a.c.)

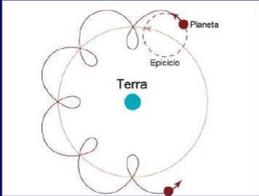
Geocentrismo e movimento perfeitamente circular



Um problema...



Epiciclo
Tentativa de explicar ou "salvar o fenômeno" do movimento retrógrado



Epiciclo



Ptolomeu



Aperfeiçoou as teorias anteriores, tornando-se o representante máximo do geocentrismo

"Salvar os fenômenos"

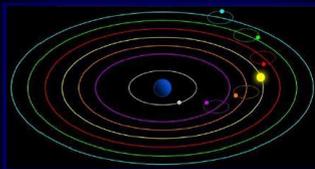
(90 - 168)

Hipóteses "ad-hoc"

Complexidade crescente!



Sistema Geocêntrico

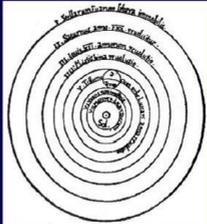




(1473 - 1543)



Nikolaj Koppernigk



De Revolutionibus Orbium Coelestium,
publicado em 1543:

O Sol está no centro dos movimentos dos planetas

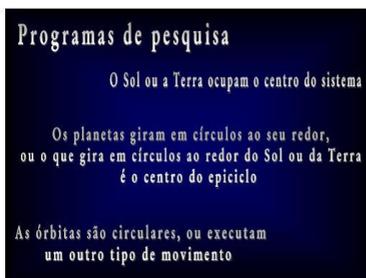
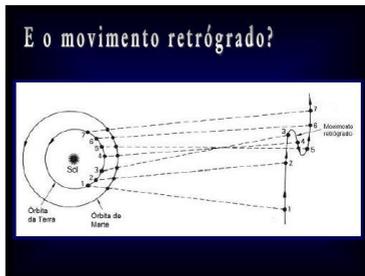
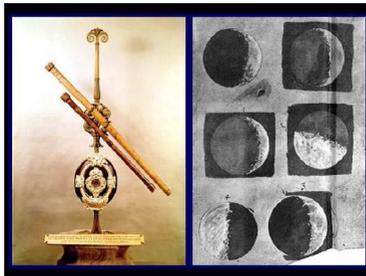
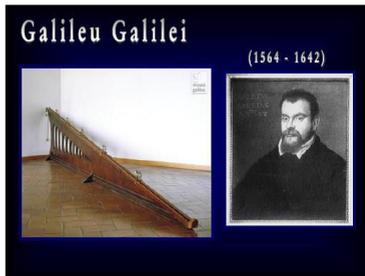
A Terra é o centro do movimento da Lua, apenas

O movimento do Sol, e das estrelas fixas
no céu noturno, são aparentes, sendo na verdade
resultado dos movimentos da Terra.

A distância da Terra ao Sol é muito pequena
em relação à distância da Terra às estrelas fixas.



Slides 2 – A supremacia da gravidade





Isaac Newton

Gravitação Universal

(1643 - 1727)





Johannes Kepler (1571 - 1630)



Tycho Brahe (1546 - 1601)



Primeira Lei de Kepler

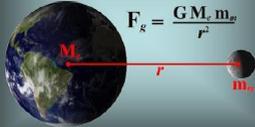
Mas e a Força Heurística?



Gravitação Universal



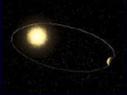

Gravitação Universal



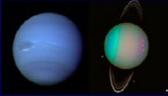
$$F_g = \frac{GM_e m_o}{r^2}$$

"Previsão" de órbitas elípticas!

Demonstração de Força Heurística!




O problema com a órbita de Urano:
a Gravitação mostra
sua força



Núcleo firme

Anomalia

Cinturão protetor

A descoberta do planeta Netuno “prova”
a Teoria da Gravitação?

~~PROVA~~ Corroboração de uma teoria

Falseabilidade: uma teoria pode
ser falseada, mas não “provada”

Escolha entre teorias

Progressão x regressão:

Força Heurística x Acúmulo de hipóteses ad-hoc

Slides 3 - A gravidade revisitada

Gravitação Universal:
explicação predominante, mas...

O problema de Urano revisitado:
o perélio de Mercúrio

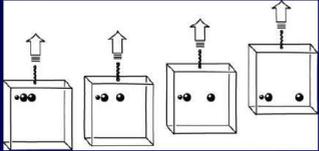
Cade Vulcano?



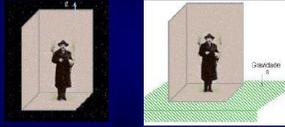

Albert Einstein
(1879 - 1953)

Relatividade Geral:
A Teoria da Gravitação de Einstein

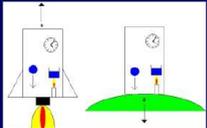
O Princípio da Equivalência



O Princípio da Equivalência

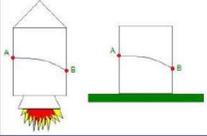


O Princípio da Equivalência



Os fenômenos ocorrem do mesmo modo,
em um móvel acelerado ou
na presença da gravidade

O Princípio da Equivalência



A luz se curva em um móvel acelerado,
e portanto deve fazer o mesmo
em um campo gravitacional!

A curvatura do espaço



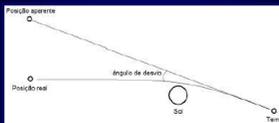
Gravitação Newtoniana X Gravitação Einsteiniana

Elementos de escolha?

Progressão e regressão:
Força Heurística e acúmulo de hipóteses não corroboradas

Problema de Mercúrio resolvido pela Gravitação de Einstein!

E quanto a curvatura do espaço? Como testá-la?

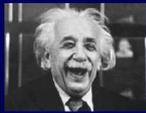


Mas como observar este desvio?



PROVA?

Muito bem, CORROBORAÇÃO!



Slides 4 – Um pouco mais de lenha

O sucesso da Gravitação de Einstein

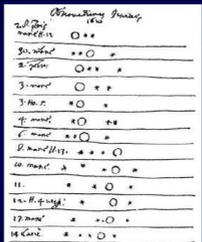
Força heurística:
previsões e corroborações

O "método científico"

As observações de Galileu com o telescópio



As luas de Júpiter



Observations of Jupiter	Date	Time	Observations
1610	Jan 7	10:00	○ + +
1610	Jan 8	10:00	○ + +
1610	Jan 9	10:00	○ + +
1610	Jan 10	10:00	○ + +
1610	Jan 11	10:00	○ + +
1610	Jan 12	10:00	○ + +
1610	Jan 13	10:00	○ + +
1610	Jan 14	10:00	○ + +
1610	Jan 15	10:00	○ + +
1610	Jan 16	10:00	○ + +
1610	Jan 17	10:00	○ + +
1610	Jan 18	10:00	○ + +
1610	Jan 19	10:00	○ + +
1610	Jan 20	10:00	○ + +
1610	Jan 21	10:00	○ + +
1610	Jan 22	10:00	○ + +
1610	Jan 23	10:00	○ + +
1610	Jan 24	10:00	○ + +
1610	Jan 25	10:00	○ + +
1610	Jan 26	10:00	○ + +
1610	Jan 27	10:00	○ + +
1610	Jan 28	10:00	○ + +
1610	Jan 29	10:00	○ + +
1610	Jan 30	10:00	○ + +
1610	Jan 31	10:00	○ + +
1611	Feb 1	10:00	○ + +
1611	Feb 2	10:00	○ + +
1611	Feb 3	10:00	○ + +
1611	Feb 4	10:00	○ + +
1611	Feb 5	10:00	○ + +
1611	Feb 6	10:00	○ + +
1611	Feb 7	10:00	○ + +
1611	Feb 8	10:00	○ + +
1611	Feb 9	10:00	○ + +
1611	Feb 10	10:00	○ + +
1611	Feb 11	10:00	○ + +
1611	Feb 12	10:00	○ + +
1611	Feb 13	10:00	○ + +
1611	Feb 14	10:00	○ + +
1611	Feb 15	10:00	○ + +
1611	Feb 16	10:00	○ + +
1611	Feb 17	10:00	○ + +
1611	Feb 18	10:00	○ + +
1611	Feb 19	10:00	○ + +
1611	Feb 20	10:00	○ + +
1611	Feb 21	10:00	○ + +
1611	Feb 22	10:00	○ + +
1611	Feb 23	10:00	○ + +
1611	Feb 24	10:00	○ + +
1611	Feb 25	10:00	○ + +
1611	Feb 26	10:00	○ + +
1611	Feb 27	10:00	○ + +
1611	Feb 28	10:00	○ + +
1611	Feb 29	10:00	○ + +
1611	Feb 30	10:00	○ + +
1611	Feb 31	10:00	○ + +

Resistência às constatações de Galileu

Não apenas os aspectos religiosos...

Como saber se as imagens vistas não eram
um problema resultante da própria luneta?

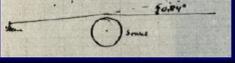
O funcionamento ótico da luneta:
não se conhecia!

Propaganda?

Arthur Eddington e o Eclipse de 1919:



Resultados nem tão certos
como propagandados!



Outras expedições...

Teoria aceita precocemente?




<http://www.powerhousemuseum.com/inside/collection/012006/australia-theory-of-relativity-proven-in-australia-1922/>

Outras previsões da Gravitação Einsteiniana...
com evidências corroborativas!

Buracos negros



Expansão do universo



Não temos um "Método Científico"...
Temos guias heurísticos...

Nossas explicações são mutáveis.
Mesmo nossas explicações de nossas explicações
mudam com o tempo...

mas nossos sucessos perduram!

Apêndice L - Questionário aos alunos – versão piloto

Unidade de Ensino - Elementos da Natureza da Ciência em um Estudo sobre a Gravitação

Nome: _____

Avaliação

1. Avalie cada afirmativa abaixo como verdadeira ou falsa, justificando e comentando em seguida.

- a) Os antigos gregos se destacaram na história por suas tentativas de explicar a natureza sem recorrer à mitologia, o que ocasionou teorias corretas para os fenômenos.
- b) Experimentos servem para provar uma teoria.
- c) O movimento dos planetas em torno do Sol é um círculo perfeito.
- d) O sistema geocêntrico foi abandonado porque não conseguia explicar nenhum dos fenômenos observados, como o movimento retrógrado e o movimento diário do Sol e da Lua.
- e) Copérnico foi o primeiro pensador conhecido na história a defender que a Terra não era o centro do universo.

2. O texto abaixo contém muitas afirmativas inadequadas. Localize-as e justifique.

Os fenômenos naturais só podem ser explicados por uma única teoria. E esta teoria, uma vez provada, passa a ser imediatamente aceita como a explicação correta. Depois que uma teoria é provada, não é mais possível voltar atrás, ou seja, ela passa a ser uma lei inquestionável. Se não fosse assim, tudo o que aprendemos e descobrimos poderia ser rapidamente abandonado, e não existiria um conhecimento mais seguro que outro.

3. Cite ao menos um elemento que pode decidir entre duas teorias rivais. Este elemento garante a escolha pela teoria mais correta? Justifique.

4. Cite ao menos uma demonstração de força heurística da Gravitação de Newton e da Gravitação de Einstein.

5. Vimos que a atividade científica guarda diferentes elementos, e que podem ser vistos de maneira diferente, por diferentes pessoas. Para você, quais elementos uma teoria deve ter para ser considerada a melhor?

Apêndice M – Roteiro de entrevista

- 1.** Você costuma comentar a respeito do funcionamento da ciência em suas aulas? Com que frequência? Se for o caso, como você costuma abordar este tema?
- 2.** Como você avalia a intenção de se abordar os elementos da Natureza da Ciência no ensino básico?
- 3.** Como você avalia seu conhecimento sobre os elementos básicos sobre a Natureza da Ciência?
- 4.** Em relação à unidade de ensino proposta, como você avalia sua estrutura? (Textos, atividades, apresentações eletrônicas e discussões propiciadas).
- 5.** Em relação à unidade de ensino proposta, como você avalia sua eficácia? (Capacidade de mobilizar o interesse do aluno e capacidade de propiciar ao aluno os elementos básicos da Natureza da Ciência propostos).
- 6.** Quais as dificuldades que você encontrou ao trabalhar com essa unidade de ensino?
- 7.** Quais elementos você mudaria nesta proposta? (Estrutura, textos, conceitos, referenciais, vídeos, dinâmica de apresentação, dinâmica de aula...).
- 8.** Se materiais como esse, utilizado na unidade de ensino proposta, fossem mais acessíveis, em livros e sites, por exemplo, você acha que os usaria mais frequentemente em sua prática? Comente.

Apêndice N – Transcrição e codificação da entrevista com o professor A

Entrevista transcrita	Codificação
<p>1. Você costuma comentar a respeito do funcionamento da ciência em suas aulas? Com que frequência? Se for o caso, como você costuma abordar este tema?</p> <p>00:48 É, então... primeiramente eu costumo comentar brevemente no início de cada novo conteúdo, digamos, as aulas introdutórias. Mas acredito que eu falo de uma forma que não é... como se estuda em um programa de pós-graduação, por exemplo, né. Então é algo mais simples. O que eu tento passar pra eles, é o que... quais estudiosos desenvolveram tal conhecimento. Tal teoria. E enfatizo que não foi a construção de uma só pessoa, né, citando que teve a contribuição de outras pessoas. Mas também não abro muito a discussão com a turma, sobre como aqueles estudiosos ou como aquelas pessoas citadas no texto chegaram a tal conhecimento.</p> <p>2. Como você avalia a intenção de se abordar os elementos da Natureza da Ciência no ensino básico?</p> <p>03:07 Eu acredito ser muito importante, digamos, os alunos entenderem essa forma de desenvolvimento da ciência... como se desenvolvem as teorias, pra justamente desmistificar aquela coisa do cientista gênio que criou tudo a partir de um estalo, do nada, digamos assim. - <i>Como a maçã do newton.</i> É isso aí, eu acredito que seja até problema não só dos livros didáticos, mas também de documentários, porque a maior parte dos alunos que têm curiosidade por ciência, eles vão... satisfazer isso com documentários. Dificilmente eles vão ler livros específicos, então... por isso que eu acho que é muito importante colocar, brevemente, incluir nos conteúdos algo sobre o desenvolvimento da ciência, né.</p>	<p>Abordagem da história e filosofia da ciência no início dos conteúdos.</p> <p>Exemplo: tratamento pontual, sobre contribuições coletivas.</p> <p>Importância centrada na desmistificação.</p>

3. Como você avalia seu conhecimento sobre os elementos básicos sobre a Natureza da Ciência?

4:43

Então, ainda assim só complementando a questão anterior, tipo assim, por mais que é importante o aluno ter essa noção, no caso, de que a ciência não é feita por uma pessoa só, aí tem o problema de eu como professor saber... não a forma correta, mas uma forma não falsa de eu tentar explicar isso pra eles. Então, apesar de eu ter feito um curso de licenciatura em física, eu considero que meus conhecimentos sobre Natureza da Ciência, dessa forma como ela foi trabalhada nessa unidade de ensino, elas não estão num nível, que eu, por conta própria, me atreveria, no caso, a ministrar uma aula no ensino médio, né, disso daí. Por mais que eu tive a formação na área da licenciatura, né, é... não lembro de especificamente alguma disciplina que a gente desenvolveu, por exemplo, algo parecido com o que você desenvolveu aqui. Tipo uma unidade de ensino, mostrando o desenvolvimento da ciência. Isso que eu achei muito interessante no trabalho. Então isso é uma coisa que eu aprendi com a unidade que eu acho que vou levar, no caso, pro resto de minha carreira. Mas eu admito que quando eu comecei a ler os textos, né, também lá sobre Lakatos, eu vi que eu não sabia muita coisa sobre isso não.

4. Em relação à unidade de ensino proposta, como você avalia sua estrutura? (Textos, atividades, apresentações eletrônicas e discussões propiciadas)

07:08

Então, é... ao meu ver, e também depois de analisar no caso a receptividade da turma, a reação da turma, a estrutura... eu achei que ela foi bem clara, e ela segue um norte, que é chegar à conclusão que uma teoria, ela nunca está terminantemente fechada, ou acabada, enfim, ela é suscetível a mudanças. E eu acho que isso ficou bem claro, né. Os textos eu achei que ficaram excelentes, a linguagem do texto ela é clara e acessível, principalmente pro aluno, né, e junto com as figuras e com a própria apresentação dos

Professor sugere que não tem os conhecimentos necessários para promover esse tipo de atividade por conta própria.

Professor sugere uma influência duradoura do material trabalhado, em sua prática.

Boa receptividade em relação à estrutura do material.

slides, eu acho que ficou muito fácil a compreensão, né, de assuntos que às vezes é difícil de compreender até pra quem já é formado, e tudo.

08:11

Ao meu ver faltou um pouco, assim digamos, em algumas partes, é... um trabalho... mais trabalho dos alunos. Aí acho que pode ser um problema que eu, no caso, criei, digamos assim, ao alongar muito, às vezes, algumas discussões. Então isso ocorria... de alguns alunos se dispersarem, e a gente ter só uma parte da turma trabalhando.[Mas] se faltou algum entendimento durante o texto, ele [o aluno] conseguiu compreender durante a apresentação dos slides. Tanto é que eu até lembro de uma aluna, que foi um espanto pra ela ver a simplicidade com que era explicado o movimento de epiciclo [e o movimento retrógrado], que você lendo, um texto, você às vezes não consegue se dar conta de que é daquela maneira. Então ela vendo o epiciclo se formando lá na imagem, ela exclamou “nossa, é tão simples assim”, né, então é isso que é interessante. Talvez, pra fazer os alunos trabalharem mais, é a parte que a gente teve lá, das hipóteses ad hoc, sobre os quatro furos [na parede], que foi o exemplo, fazer mais exemplos, talvez até eles colocarem numa folha. Eles escreverem as hipóteses, eles irem atrás de pessoas mais antigas aqui do instituto, pra eles realmente comprovarem, testarem a hipótese que eles criaram. É uma atividade a mais que eles trabalhariam mais, digamos.

5. Em relação à unidade de ensino proposta, como você avalia sua eficácia? (Capacidade de mobilizar o interesse do aluno e capacidade de propiciar ao aluno os elementos básicos da Natureza da Ciência propostos)

11:57

Então, eu acredito que foi muito válido, também até observando o comportamento dos próprios alunos. Isso pode ser visto quando eles responderam aquelas questões relacionadas aos extratos dos textos, dos livros didáticos. Muitos alunos riram, eles riam da forma como era afirmado e como era colocada no livro, né, principalmente em

Sugestão de mais trabalho por parte dos alunos.

relação à queda da maçã. Então essa reação do aluno, com aquela afirmação, e exporem o porquê que isso não pode ser admitido como verdade, eu acho que já... isso já é um sucesso, digamos assim, da própria unidade de ensino. Já mostra que alguma coisa já ficou com eles.

- *Uma análise mais crítica.*

Uma análise mais crítica até do próprio livro didático, tanto é que alguns alunos perguntaram, “você ter certeza que isso está em um livro didático?”, tipo, nem eles acreditavam que aquilo estava lá. Isso já mostra que eles conseguiram compreender a essência da unidade, enfim... no início talvez não, alguns alunos achavam que a gente ia estudar só a teoria da gravitação, só que implicitamente eles já estavam sendo “forçados” a entender como que o desenvolvimento da ciência funciona. Então a partir dessa observação deles mesmos, eu acho que sim, foi muito válido.

6. Quais as dificuldades que você encontrou ao trabalhar com essa unidade de ensino?

14:10

Assim... eu posso dividir essas dificuldades em duas classes, digamos. Uma dificuldade minha, como professor, e outra dificuldade, no caso, da relação professor-aluno, professor-turma, no caso de desenvolvimento de uma aula. As mais relevantes que eu cito pode ser o que: a atenção da turma durante todo o período de discussão dos textos, aí retorna aquela discussão das questões anteriores, de que eu posso ter deixado muito tempo aberto, ou deixar os alunos divagarem muito, né, então isso acabou... às vezes saía daquela linha de raciocínio que a gente estava, e a turma dispersava um pouco.

- *O pessoal vai por caminhos imprevisíveis [nas discussões], né? Você não sabe até que ponto você deixa eles irem, ou traz de volta...*

É, sem cortar eles, né, era uma aula de discussão, era uma aula que eles teriam abertura total, então... uma dificuldade é isso. Isso eu não atribuo à unidade de ensino, acho que teria esse problema com qualquer conteúdo, digamos assim. E depois... mesmo no início da aula, fazer com que todos os alunos participassem da discussão. Eu

Exemplo: eficácia do material em função das reações dos alunos.

Duas classes de dificuldades: profissional e relacional com os alunos.

Autocrítica em relação à condução das aulas.

Problema associado ao cotidiano de sala, e não da unidade de ensino.

<p>percebi que meio que polarizou algumas partes da sala. Alguns alunos contribuíram muito, que às vezes tinha que até tentar cortar levemente, pra eles não tomarem conta da aula, e alguns não contribuíram nada. Esse é outro problema que eu não atribuo à unidade de ensino em si, porque é uma coisa inerente à turma. Quando o aluno é mais fechado, ele é mais fechado e não vai contribuir mesmo. E eu como professor, no caso, eu tive dificuldade porque eu não conhecia, por exemplo, a filosofia de Lakatos. Além disso, alguns conteúdos lá da relatividade geral, por exemplo, eu tive que re-estudar, pra eu não dar bofeira lá.</p> <p><i>- E como é que você acha que estão os textos, quando você leu?</i></p> <p>Os textos estão excelentes. A linguagem muito clara, os termos ali da epistemologia, né, muito bom, só algumas coisas da gravitação [de Einstein] que eu fui olhar fora do texto pra me aprofundar mais, pra justamente não ter problemas em sala.</p> <p>7. Quais elementos você mudaria nesta proposta? (Estrutura, textos, conceitos, referenciais, vídeos, dinâmica de apresentação, dinâmica de aula...)</p> <p>19:07</p> <p>Como eu comentei, assim... achei os textos muito interessantes, né, mas mudaria... os textos não, as apresentações também não, talvez diminuir o tempo de discussão. Né, porque duas aulas foi muito... como a gente já comentou, alguns alunos começaram a divagar muito, então tentaria acelerar a discussão, por mais que ficasse até um pouco corrido, evitando a dispersão da turma. Outro ponto, que já comentei, seria essa proposta dos alunos formularem as hipóteses, mas não só formularem, e irem atrás e tentar corroborar ou não aquelas hipóteses deles. Mesmo com coisas bem simples, como os furos na parede, ou porque a árvore está torta, esse tipo de coisa. Mas tirando isso daí, assim... tá muito bom, gostei bastante.</p> <p>8. Se materiais como esse, utilizado na unidade de ensino proposta, fossem mais acessíveis, em livros e sites, por exemplo,</p>	<p>Problema associado à falta de conhecimento da epistemologia utilizada.</p> <p>Reforço da boa receptividade dos textos.</p> <p>Diminuição do tempo de discussões.</p> <p>Extensão das atividades a respeito do conceito de hipóteses.</p>
---	---

você acha que os usaria mais frequentemente em sua prática? Comente.

21:33

Sim. Acredito que poderia até fazer como conteúdo mesmo, no caso várias aulas, apresentando justamente a evolução de uma teoria, como foi apresentado. Então, isso poderia ser utilizado já no primeiro ano, já nas primeiras aulas, fazer algo... pra eles pensarem mesmo. Pra eles discutirem, pra física não começar já no primeiro ano com aquela coisa, com aquela matematização. O aluno já vai ter um outro olhar, “ôpa, mas física não é só número?”, então eu acho que poderia ser usado no primeiro ano já justamente pra quando ele fosse seguindo sua caminhada na física, física 1, física 2, física 3, ali, ele já ir interpretando aqueles conteúdos, vendo aqueles conteúdos com outros olhos, tipo “ah não, não foi o Newton que criou a mecânica sozinho, não foi o Faraday que iniciou a eletricidade sozinho”... E eu utilizaria sim se tivesse isso daí [esse material]. Então, só pra comentar, depois que eu fui lendo os textos, eu achei muito interessante a abordagem, mostrar o desenvolvimento da teoria, pra desmistificar tudo... isso que eu achei interessante, e que pode ser feito não só com a teoria da gravitação, pode ser feito com várias teorias, e seria muito agradável pro aluno. Então, se tivesse mais acesso, eu usaria com certeza.

Resposta bastante positiva à questão, com sugestões sobre o modo de trabalho em outros contextos.

Apêndice O – Transcrição e codificação da entrevista com o professor B

Entrevista transcrita	Codificação
<p>1. Você costuma comentar a respeito do funcionamento da ciência em suas aulas? Com que frequência? Se for o caso, como você costuma abordar este tema?</p> <p>00:17</p> <p>Sim, costumo. Não em todo o conteúdo que eu abordo, né, porque ficaria difícil, mas em alguns pontos chave eu acho importante comentar sobre o funcionamento, porque ajuda na compreensão do porquê que o cientista pensou aquilo. Então, por exemplo, quando a gente estuda mecânica newtoniana, os livros sempre trazem o contexto das aplicações, né, mas na verdade a mecânica newtoniana não veio no contexto das aplicações, em geral, né, na obra original do Newton ele fez isso, ele fez algumas aplicações, como o movimento balístico. Mas o contexto de surgimento tem a ver com a astronomia, né, com o entendimento do movimento dos planetas. Então acho que isso ajuda a fazer um link muito maior depois com o estudo da gravitação, e o aluno entender que as Leis de Newton estão extremamente ligadas à Lei da Gravitação Universal, né, então é um conjunto uno, alí, de conhecimento. E aí o contexto das aplicações tecnológicas seria uma coisa interessante porque daí você mostra que... são as mesmas leis lá pro universo, né, e aqui na Terra, entendeu? E daí você ainda justifica, como que o Newton convenceu as pessoas de que na verdade, por ele ser heliocentrista, como que ele convence que é esse o modelo mesmo, como é que funciona o argumento, é porque as leis dele funcionam na Terra... funcionam na Terra, então porque não funcionar lá em cima. Então dá um entendimento, a generalidade das leis da ciência, e de que elas têm um contexto importante do qual elas surgem, né.</p> <p>- <i>Então a frequência com que você aborda isso em sala, depende do conteúdo...</i></p> <p>02:10</p>	<p>Abordagem da história e filosofia da ciência em alguns conteúdos.</p> <p>Exemplo: justificativa no contexto da gravitação.</p>

<p>É, depende do conteúdo, mas no geral, duas vezes por ano, uma vez a cada semestre, é... algum pedaço, eu apresento um vídeo, ou eu mesmo faço uma discussão, apresento um pequeno texto, geralmente um vez por semestre.</p> <p>- <i>Você costuma abordar esse tema de alguma forma específica, ou isso depende muito do conteúdo que você está vendo...</i></p>	<p>Frequência de trabalho com a história e filosofia da ciência. Semestralmente.</p>
<p>02:41</p> <p>Depende do material que eu consigo arrumar. Porque eu produzir material é complicado, demoraria mais de um mês, dois meses, para eu produzir material original. Então a dificuldade tá em encontrar um bom material, então às vezes você encontra um vídeo, mas às vezes aquele vídeo não é tão bom, porque ele apresenta, ele mostra uma visão mais inadequada da ciência, então você tem que fazer esse filtro, né, então mesmo usando o seriado Cosmos, que é muito bom, mas ele remete a certas visões que às vezes não são muito adequadas, né, então você tem que fazer esse filtro, então às vezes é difícil encontrar um bom material. Tem surgido materiais bons, mas não necessariamente eu tenho acesso, porque às vezes eu tenho que comprar o material. E nem sempre eu consigo comprar o material. Então a abordagem vai de acordo com o material que eu conseguir arrumar.</p> <p>- <i>Você já está sugerindo o que eu ia perguntar mais à frente, então já podemos ir para ela: (8.) Se materiais como esse, utilizado na unidade de ensino proposta, fossem mais acessíveis, em livros e sites, por exemplo, você acha que os usaria mais frequentemente em sua prática? Comente.</i></p>	<p>Dependência de materiais disponíveis.</p> <p>Problema em encontrar materiais.</p> <p>Necessidade de se fazer transposições de materiais disponíveis.</p>
<p>03:54</p> <p>Olha, mesmo que assim... olha, é minha experiência pessoal, eu também trabalho com essa área, e mesmo eu que trabalho nessa área tenho dificuldade de fazer, então imagina quem não trabalha. Então multiplica por dez a dificuldade, então.. é claro que a dificuldade de incorporar isso no Ensino Médio é a disponibilidade do material. Então nos últimos cinco anos têm surgido bastante coisa, sabe, como materiais paradidáticos. E</p>	<p>Retoma problema da disponibilidade de materiais.</p>

eu acho que é essa que deve ser mesmo a abordagem, pessoalmente. Não acho que introduzir muito no livro didático seja uma coisa interessante.

- Não dá para ficar forçando os professores a seguir sempre a mesma linha...

04:35

Exato, eu acho que a grande questão é a riqueza de materiais paradidáticos, ter disponível. Tanto, inclusive, de forma livre, né, “open source”, acho que é extremamente importante, porque facilita pro próprio aluno ler, porque se não tem que comprar o livro, e aí é caro, xerocar é complicado, tem a questão do direito autoral, então a disponibilidade do material, pra mim agora é o ponto chave, né, acho que os pesquisadores produzir material, seria uma coisa extremamente importante. A realidade do Brasil é que, como falta professor, falta professor de ciências, falta professor de física, os professores têm que dar “trocentas” aulas, a realidade é que o professor tem muito pouco tempo de preparação, então fica impossível o professor do Ensino Médio preparar material, então esse material tem que aparecer. E tem que aparecer já com uma proposta didática, de aplicação, entendeu, como foi a tua proposta. Aquilo... veio uma proposta já estruturada, de como aplicar, de sugestão de avaliação, de atividades, e isso aí facilita por demais assim, pra você aplicar, então o professor se sente seguro de que alguém mais experiente, e que estudou muito aquele tema, estruturou... fica um chão mais seguro.

2. Como você avalia a intenção de se abordar os elementos da Natureza da Ciência no ensino básico?

06:50

É, a academia ainda não abraçou essa coisa ainda da educação básica. Ela ainda luta internamente, eu vejo... minha percepção... pra transformar os seus cursos internamente, porque a academia ela é uma instituição conservadora, tem o lado bom, tem o lado ruim, né, esse é o lado ruim. Ela ainda é muito conservadora na hora de reformular seus cursos de licenciatura, então a academia não parece ter abraçado ainda a educação básica, tá, e isso é ruim. Mas acho que essa

Importância de materiais paradidáticos de livre acesso.

Sugestão de propostas como as desenvolvidas na pesquisa: estruturada e facilmente disponível.

Academia conservadora, sem preocupação com a educação básica.

<p>nova geração que tem saído de agora, tá abraçando fazer esse movimento de ir pra educação básica, até no Ensino Fundamental.</p> <p><i>- E você acha que é desejável trabalhar com isso no ensino básico.</i></p> <p>07:53</p> <p>Eu entendo que é extremamente desejável. Porque eu entendo que não deveria existir uma única maneira de se abordar a ciência na educação básica. Eu sou adepto da flexibilidade curricular e flexibilidade acadêmica. Então, o contexto de educação de uma escola técnica é um, o contexto de uma escola básica é outro. E mesmo na escola básica você pode ter diferentes contextos, né, pode ser uma escola básica que prefira trabalhar mais humanidades, e a história e filosofia da ciência justamente caberia muito mais numa... agora uma escola que trabalha mais uma questão técnica, talvez fosse um pouco mais tímida a abordagem histórica e filosófica, mas ela pode existir ainda, né. Ela ainda pode existir de maneira extracurricular, também. Acho que é por aí, entendeu?</p> <p>3. Como você avalia seu conhecimento sobre os elementos básicos sobre a Natureza da Ciência?</p> <p>09:06</p> <p>Eu fiz uma disciplina na graduação, considero que foi suficiente pra um licenciado que vai sair pro “mercado”, né, mas falta muita bibliografia brasileira sobre isso, produzida no Brasil, livros traduzidos focados na história da ciência, enfim, você tem que ler muito em língua estrangeira, e se você não domina essa língua estrangeira você não consegue se aprofundar nisso, então... eu considero que meu conhecimento ainda é um mínimo necessário, mas não considero satisfatório. Não considero ainda, pessoalmente. Se eu parar para refletir, existem muitas partes da física que eu não faço a menor ideia de como apareceu. A menor ideia de como que surgiu aquela coisa. Eu sei que eu ensino assim, entendeu... eu sei que no livro didático tá assim, eu aprendi daquele jeito, né, despersonalizado, descontextualizado, dessincronizado, eu aprendi assim, sei ensinar assim, sei fazer</p>	<p>Resposta afirmativa à questão.</p> <p>Chama atenção ao pluralismo metodológico.</p> <p>Conhecimento mínimo necessário à sua prática.</p> <p>Autopercepção crítica.</p>
---	---

experimentos, o aluno até gosta, se sente satisfeito, mas eu não tenho a menor ideia de como isso apareceu. Então... é ruim.

- Isso que você já tem uma certa preferência e iniciação na área, então...

10:27

Exatamente, acho que a autocrítica nesse sentido é importante, e, bom, a questão é que o professor tem que ser um eterno estudante, né... então eu acho que é importante a formação inicial fazer um trabalho, principalmente um trabalho de sensibilização do professor, de como a história e filosofia da ciência pode contribuir, mas tem que fazer o trabalho de formação continuada, tá, e é extremamente importante porque o professor está em formação a vida inteira, então, talvez não só na formação inicial mas criar cursos, que sejam talvez à distância, e que fosse mantendo os professores continuamente estudando e pudessem optar pelo tópico.

4. Em relação à unidade de ensino proposta, como você avalia sua estrutura? (Textos, atividades, apresentações eletrônicas e discussões propiciadas).

12:50

No geral ela tá muito bem estruturada. Ela tem textos bem construídos, que não são cansativos pro aluno, que trazem coisas que eles nunca viram no livro didático e nem em outras fontes. Então... as apresentações estão bem conectadas com o texto, elas complementam bem o texto, elas trazem animações, porque muitas coisas alí falam de fenômenos que têm movimento... então quando fala por exemplo do epíclis, não adianta falar o epíclis, não adianta botar só o desenho, o aluno tem que ver a coisa acontecendo. Alí ele entende o que tava, né... pra ele comparar as explicações, o movimento retrógrado... na explicação geocêntrica e heliocêntrica... eu entendo que o aluno só consegue compreender aquilo quando ele vê a animação, por exemplo. Então, a apresentação complementa muito bem... As atividades que são propostas no meio, que são propostas pra provocar o aluno, também estão muito bem dosadas, são perguntas, me parecem, muito bem feitas, que direcionam pra elementos chaves do

Importância da formação continuada.

Recepção positiva em relação à estrutura do material como um todo.

Exemplo, importância das ilustrações para o entendimento do movimento retrógrado.

Boa recepção das questões para discussão.

texto, alguns conceitos pra mim parecem que foram muito bem trabalhados no texto, como o conceito de força heurística, e de hipóteses ad hoc, são dois temas centrais... pelo que eu percebi os alunos entenderam o que é aquilo, né, em sua maioria entenderam bem... O conceito de cinturão protetor, não ficou muito bem compreendido...

- É, o texto não focou muito...

14:32

Ele não foca muito, mas talvez fosse uma questão de fazer uma triangulação maior entre esses três conceitos, mas, enfim, está muito bom, de qualquer maneira, e avaliação final teve algumas questões que os alunos acharam que você está perguntando outra coisa, eles não entenderam qual o elemento chave. Então por exemplo, a palavra “verdadeiro”... esse é o ponto da questão, e os alunos não entenderam que aquele é o ponto da questão. Mas eles responderam bem, se você fala, mas não eles interpretaram de outro jeito... mas se você olhar as respostas, as respostas estão razoáveis. Tirando essas pequenas questões que aparecem, mas porque isso é uma dificuldade intrínseca, porque os alunos não estão acostumados a lidar com a sutileza, com a dificuldade filosófica, de discutir o sentido da palavra verdadeiro ou correto. Eles não estão maduros ainda, eles vão ter esse essa dificuldade. E eu acho que o objetivo justamente de colocar esse tipo de coisa é fazer eles pensar sobre isso, né, eles estão sendo educados. Enfim, esse é o único detalhe, uma ou outra pergunta ficou dúbia, mas as outras perguntas foram muito boas, os alunos entenderam o que estava sendo pedido, e elaboraram no meu ver respostas muito boas, muito razoáveis, né... se posicionaram, apareceu diversidade de opiniões, apareceu argumentações sobre isso, né, então no geral acho que foi muito positivo.

5. Em relação à unidade de ensino proposta, como você avalia sua eficácia? (Capacidade de mobilizar o interesse do aluno e capacidade de propiciar ao aluno os elementos básicos da Natureza da Ciência propostos).

17:30

Indicativo de aprendizado dos alunos.

Insuficiência de abordagem do conceito de cinturão protetor.

Problemas de interpretação originados pela redação das questões.

Sugestão da eficácia do material.

Considerando que essa é certamente a primeira vez que eles têm contato com uma discussão desse tipo, então a eficácia foi muito grande. Porque eles partiram do zero, praticamente, não necessariamente todos, né, mas... saíram praticamente do senso comum, e eles conseguiram se apropriar de pelo menos dois conceitos fundamentais, que é a força heurística e explicação ad hoc, e eles conseguiram compreender isso em outros contextos, né, elaboraram outros exemplos onde essa explicação aparece, então eles... já acho que eles conseguem transportar isso pra outras áreas da ciência, ou para um debate, por exemplo, entre dois temas quaisquer. Então acho que foi muito bom, foi uma eficácia bem significativa, considerando que eles partiram praticamente do zero [do senso comum]. Foi um chacoalhar que acho que fundamentou muito bem os temas para eles. Pra eles entenderem, por exemplo, que uma teoria que faz previsões de novos fenômenos, e esses fenômenos são corroborados, são verificados de alguma forma, é uma teoria que tem mais poder do que uma que só explica o que já se conhece. Acho que eles entenderam bem isso, acho que isso já é uma questão de eles poderem fazer juízo de valor sobre duas teorias, né, isso é uma coisa fundamental. Por isso acho que a eficácia foi muito grande, muito satisfatória.

6. Quais as dificuldades que você encontrou ao trabalhar com essa unidade de ensino?

19:56

A dificuldade é porque quando você trabalha com outra perspectiva filosófica, você quer alargar o horizonte epistemológico do aluno, enquanto a educação geral... ela faz o contrário, na educação básica, né, ela estreita o horizonte epistemológico do aluno, apresentando conteúdos de ciência despersonalizados, descontextualizados, dessincretizados... quando você quer alargar o horizonte epistemológico, você tem que refazer o contrato didático do aluno. Pra mim essa é a maior dificuldade. E mudar esse contrato com um trabalho é pequenininho, um mês, não dá, você vai perturbando o contrato didático ao longo de um ano inteiro pra você obter um resultado. Então a

Sugestão de eficácia positiva.

Sugestão da perspectiva filosófica como oposta ao que se faz na educação tradicional.

Problema com a temporalidade: pouco tempo para se mudar o contrato didático.

<p>dificuldade tá ali... alguns alunos não compreenderam qual era a proposta... que era ler, era discutir, era perguntar, era... confrontar o colega e fazer uma discussão com ele. Esses alunos ficaram calados, e pelas respostas na avaliação não se apropriaram dos assuntos.</p>	<p>Alguns alunos não foram suficientemente atingidos pela proposta.</p>
<p>- <i>Esses alunos não estão acostumados a serem colocados no centro da construção do conhecimento.</i></p>	
<p>21:30</p>	
<p>Exato. Já alguns alunos que já têm mais esse ímpeto de participar, esses alunos entenderam, gostaram, pediram novamente... ah, uma coisa, eles pediram pra fazer isso ano que vem de novo. "Professor, ano que vem vamos fazer isso de novo com outro conteúdo?". Eles vieram solicitar isso. Eles gostaram de fazer um estudo de ciência que não fosse operativo, né, de fazer cálculos, mas fosse histórico filosófico. Então os alunos pediram, esses alunos que participaram querem de novo, e os alunos que ficaram muito quietos na sala de aula já têm essa característica, de não participar muito, tá, esses alunos daí a dificuldade foi que eles não se apropriarem da nova proposta. Enfim, tem que fazer o trabalho de novo, tem que insistir com esses alunos, que uma hora eles entram na jogada, entendeu, é que tem que insistir mais com esses alunos, normal, né?</p>	<p>Alunos solicitaram trabalhar novamente dessa forma.</p>
<p>7. Quais elementos você mudaria nesta proposta? (Estrutura, textos, conceitos, referenciais, vídeos, dinâmica de apresentação, dinâmica de aula...).</p>	<p>Sugestão de que os alunos não participantes apresentam esse perfil em outros conteúdos.</p>
<p>23:32</p>	<p>Necessidade de insistir com esses alunos.</p>
<p>O que eu trabalharia primeiro é incluir um momento extra que seria usando alguma metodologia... de debate, como um júri simulado. E estimular que o aluno defenda um lado que ele não concorda, que ele se aproprie daqueles argumentos pra defender. Depois faria uma avaliação escrita, e aí na avaliação escrita eu tentaria só com base nas avaliações anteriores, eu tentaria melhorar um pouco para que o aluno compreenda qual a intenção das perguntas e questões. Mas é só isso. Então no geral, um momento extra de debate, e melhoraria um pouco a questão da avaliação final. O resto eu acho que tá</p>	<p>Sugestão de júri simulado.</p>
	<p>Sugestão de melhoria da avaliação.</p>

tudo muito bem feito já, o texto, a apresentação, as perguntas que são feitas no meio... eu considero muito satisfatório, e que os alunos que participaram... aquilo aí foi o suficiente para que eles pudessem se apropriar dos conceitos e poderem entender o que estava sendo discutido.

- Eu percebi um pouco de resistência dos alunos em relação à leitura dos textos. Qual sua visão a respeito do uso dos textos nas aulas?

26:02

Agora eu vou ser um pouco conservador. O Brasil tem um problema de leitura, com os alunos. Os alunos não leem. Mas os alunos têm que ler! Então é lógico que não é fugindo desse problema... não, tem que trabalhar com texto sim, porque o conteúdo histórico e filosófico, ele é majoritariamente apresentado como texto, é assim desde a Grécia antiga, e não vai mudar. É preciso fazer uma narrativa, contar uma história... é com texto, que se conta uma história, né? Então... eu não acho que tenha que fugir disso. E eu não vejo problema estrutural no texto. É um texto que tá no tamanho certo. Não é cansativo de ler aquele texto. É um texto adequado pra o Ensino Médio. Então pra mim tem que continuar trabalhando com texto. O que poderia ser feito é trabalhar com hipertexto. Onde já nesse hipertexto tivesse as animações e simulações, e alguns conceitos chaves, talvez se fizessem uns links para outras coisas, né. Porque eles são nativos digitais, né. Então aí sim... mas tem que trabalhar com texto.

- Então você acha uma boa ideia... material transformado em meio digital... num site... você usaria ele futuramente.

27:35

Com toda a certeza! Sem dúvida nenhuma. E seria até interessante incluir nesse site alguma coisa formativa para o professor que vai usar. Se isso estiver em um hipertexto, num site, acho que vai ser fantástico, pro aluno poder usar, usar no celular em sala de aula, consultar o hipertexto, ler o texto até no celular, ler num tablet... seria a cereja do bolo ser transformado em hipertexto. E

Necessidade de se trabalhar com texto.

Sugestão de se transformar o texto em hipertexto.

como eu falei, não tem que fugir do texto. Tem que incorporar coisas ao texto.	
---	--

Apêndice P – Questionário de recepção dos alunos

- 1.** O que você achou das aulas sobre a Natureza da Ciência e a Gravitação? Comente.
- 2.** O que você achou do material didático? (Textos e apresentações eletrônicas)
- 3.** Que dificuldades você encontrou ao longo das aulas? (Teve algum ponto que você achou mais difícil? Por quê?)
- 4.** Você gostaria que esse tipo de discussão que fizemos estivesse presente também em outros conteúdos de Física? Por quê?