

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE FILOSOFIA E EDUCAÇÃO - CEFE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO – CURSO DE MESTRADO

FERNANDO SIQUEIRA DA SILVA

**OBJETOS-MODELO NO ENSINO DE ASTRONOMIA E O PROCESSO DA
TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA**

Caxias do Sul

2011

FERNANDO SIQUEIRA DA SILVA

**OBJETOS-MODELO NO ENSINO DE ASTRONOMIA E O PROCESSO DA
TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA**

Dissertação apresentada à banca examinadora do Curso de Pós-Graduação em Educação, da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: **Prof. Dr. Francisco Catelli**

Caxias do Sul

2011



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

“Objetos-modelo no ensino de astronomia e o processo da transposição didática”

Fernando Siqueira da Silva

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pela Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Educação. Linha de Pesquisa: Educação, Epistemologia e Educação.

Caxias do Sul, 31 de agosto de 2011.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco Catelli (orientador)
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Alex Fabiano Murillo da Costa
Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Jayme Paviani
Universidade de Caxias do Sul

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
Biblioteca Central

CIDADE UNIVERSITÁRIA

Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 – B. Petrópolis – CEP 95070-560 – Caxias do Sul – RS – Brasil

Ou: Caixa Postal 1352 – CEP 95020-972 – Caxias do Sul – RS – Brasil

Telefone / Telefax (54) 3218 2100 – www.ucs.br

Entidade Mantenedora: Fundação Universidade de Caxias do Sul – CNPJ 88 648 761/0001-03 – CGCTE 029/0089530

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
UCS - BICE - Processamento Técnico

S586o Silva, Fernando Siqueira da, 1982-
Objetos-modelo no ensino de astronomia e o processo da
transposição didática / Fernando Siqueira da Silva. - 2011.
210 f. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul,
Programa de Pós-Graduação em Educação, 2011.
Orientador: Prof. Dr. Francisco Catelli

1. Astronomia – Estudo e ensino. 2. Prática de ensino. 3.
Didática. 4. Aprendizagem. I. Título.

CDU 2.ed.: 37.016:52

Índice para o catálogo sistemático:

1. Astronomia – Estudo e ensino	37.016:52
2. Prática de ensino	37.013
3. Didática	37.02
4. Aprendizagem	37.091.322.7

Catalogação na fonte elaborada pela bibliotecária
Cleoni Cristina G. Machado CRB- 10/1355

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha querida e pacienciosa esposa, Nadiane, pela compreensão e dedicação em nossos momentos mais difíceis; e ao meu sogro, Miguel (em memória), que num final de tarde de verão no interior de Nova Esperança do Sul - RS, em seus últimos dias de vida, já cansado de lutar contra um câncer pulmonar agressivo e tendo recapitulado toda a sua vida pregressa, crente de que em muitos momentos de sua vida não fora um bom homem, e que um possível prestar de contas estava por vir... Por um instante brilhava os olhos e transparecia um sorriso de esperança após observar algumas estrelas através de um binóculo... Estava ele convencido de que a Terra não passa de um grão de areia no infinito do Universo e de que o inferno não passa de um estado de sofrimento no mundo de muitos homens. Nunca esquecerei esse momento e esse grande homem.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores de iniciação científica astronômica, Dr. Odilon Giovanini Júnior e Dr. Francisco Catelli pelas inúmeras oportunidades e ensinamentos de uma das mais antigas e apaixonantes ciências;

Ao meu orientador de mestrado, Dr. Francisco Catelli, em especial, pela ajuda nas releituras e traduções de alguns textos da língua estrangeira. Textos que contribuíram em muito para o desenho do primeiro capítulo dessa dissertação.

Aos meus queridos pais, Noé (em memória) e Maria, irmãos, Bruno e Mariele, esposa, Nadiane e a todos os meus amigos que compreenderam a minha ausência e afastamento em muitos momentos.

A todos os meus amigos e colegas de iniciação científica: Pedro Antônio Ourique, Rui L. Schwanke, Fabiano Berté e Leonardo Turmina, pelo companheirismo, vivência e troca de experiências no estudo da astronomia.

A todos os meus amigos e colegas da pós-graduação, em especial, a Edi Jussara Lorenzatti pelo espírito inquiridor e prestativo; a Milena Aragão pela contribuição com as gravações e filmagens; a Fernanda Bertoldo pelo companheirismo.

A todos os meus professores da graduação e da pós-graduação que me acompanharam nesse importante percurso.

Ao museu de ciências da Universidade de Caxias do Sul pela cessão do planetário inflável;

Aos representantes da escola e a todos os alunos que cederam seu tempo e dedicação na participação dessa pesquisa.

A Deus, manifestação da vida que emerge em tudo e em cada um de nós.

...nossos pensamentos estão para as coisas na mesma relação que os modelos estão para os objetos que eles representam... mas sem implicar numa completa semelhança entre coisa e pensamento; pois naturalmente não sabemos quase nada sobre a semelhança entre nossas ideias e as coisas às quais nós as ligamos...

Ludwig Boltzmann

Objeto meio abstrato, meio concreto, operando sobre colocação em tensão entre totalidade e focalização, transponível, o modelo é por natureza um mediador.

Muriel Louâpre

RESUMO:

Uma investigação no âmbito do ensino em astronomia envolvendo objetos-modelo, modelização e transposição didática foi realizada com um grupo de 11 alunos do último ano do Ensino Básico. A atividade de ensino visou o estudo dos seguintes fenômenos naturais: a) o movimento anual aparente do Sol b) as direções do nascimento do Sol ao longo do ano c) e a duração aproximada do dia em qualquer região da Terra, para qualquer época do ano. Inicialmente, por meio da aplicação de um questionário de perguntas abertas, identificaram-se as concepções prévias dos alunos a respeito destes fenômenos, momento em que se verificaram alguns equívocos e distorções como, por exemplo, a ideia bastante enraizada entre os alunos de que o Sol nasce “sempre” no leste e se põe no oeste. Essa concepção parece bastante difundida na escola básica. A ideia de que a duração aproximada do dia claro, ao longo do ano, é a mesma para todas as regiões da Terra; a ideia de que o Sol atinge o zênite em Caxias do Sul – RS e a ideia de que a causa das estações do ano é consequência da maior ou menor proximidade da Terra ao Sol, são outros exemplos. Depois de feita a análise das concepções prévias dos participantes, muitas delas errôneas e em desacordo com as concepções científicas, foi desenvolvida uma intervenção didática na qual diversos fenômenos naturais foram investigados em um conjunto de ambientes de aprendizagem, dotados de uma pluralidade de objetos-modelo didáticos que serviram de instrumentos auxiliares ao estudo. Este momento possibilitou aos alunos uma retomada de concepções, fazendo com que suas ideias fossem novamente revistas, exploradas e confrontadas. Ao final, através de entrevistas semi-estruturadas, os alunos foram convidados a expor as suas pós-concepções, depois de passarem pelas atividades de modelização, tendo a possibilidade de demonstrar o que ficou e o que mudou para eles em termos de conhecimento. A pesquisa nos mostrou que os objetos-modelo didáticos utilizados para o ensino e aprendizagem dos objetos do saber astronômico colocados em a), b) e c) foram, de modo geral, instrumentos valiosos para a representação e compreensão, possibilitando aos alunos o conhecimento de alguns aspectos da realidade dos fenômenos naturais em estudo. Pode-se afirmar ainda que os objetos-modelo didáticos de fato permitiram a passagem do saber sábio ao saber ensinado, oportunizando a ponte entre o saber científico astronômico e o saber escolar, como fica demonstrado em muitas das falas dos participantes, recolhidas ao longo da pesquisa.

Palavras chave: objetos-modelo; modelização; transposição didática; ambientes de aprendizagem

ABSTRACT:

An investigation on astronomy teaching using model-objects, modeling and didactic transposition was performed with 11 students of the last year of basic school. The activities were focused on the study of the following natural phenomena: a) the annual apparent movement of the Sun; b) the directions of sunrise throughout the year; and c) the length of the clear day in any place on Earth for any period of the year. Initially, the students were asked to respond several open questions with which it was possible to identify the students' preconceptions on these phenomena. We found, for example, a misconception on the well-established idea among students that the Sun "always" rises in the east and sets in the west. This concept seems widespread in all school levels. The ideas that the length of daylight throughout the year is the same for all regions of the Earth, the Sun reaches the zenith in Caxias do Sul - RS, and the seasons is a consequence of greater or lesser proximity of Earth to the Sun are other examples. After analysing the students conceptions, many of them wrong and at odds with scientific concepts, a didactic intervention was implemented to study the phenomena using learning environments enriched with model-objects which were used as teaching auxiliary tools. This teaching strategy allowed the students a recovery of conceptions, so that the ideas were further reviewed, explored and confronted. Finally, using semi-structured interviews, the students were invited to present their post-conception, after performing the activities of modeling, where they took the opportunity to demonstrate what has changed for them in terms of knowledge. The research showed us that learning environments enriched with model-objects for studying the a), b) and c) astronomical phenomena were, in general, valuable tools for the representation and understanding, improving the students' knowledge on some aspects of the reality of natural phenomena. Additionally, this study showed that model-objects didactics allowed the passage of knowledge taught to the wise, building the bridge between scientific knowledge and school knowledge.

Keywords: Model-objects; modeling; didactic transposition; learning environments

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 OS MODELOS NA CIÊNCIA: UMA BREVE ABORDAGEM HISTÓRICA E EPISTEMOLÓGICA	25
1.1 A inserção da noção de modelo na ciência: o modelo mecânico e as analogias em física... ..	27
1.2 A noção de modelo em lógica matemática: a abordagem semântica.....	29
1.3 Os modelos no advento e após segunda guerra mundial: modelo matemático, objetos-modelo e modelo teórico.	31
1.3.1 Os objetos-modelo e seus modelos teóricos: os intermediários entre as teorias gerais e os dados empíricos.	33
1.4 Os modelos a partir de 1980: os computadores nas simulações de sistemas complexos.....	36
1.5 O que é modelo, afinal?	37
2 OS MODELOS NO ENSINO DE CIÊNCIAS E O PROCESSO DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA	41
2.1 Os modelos segundo a epistemologia Bungeana	47
2.1.1 Do objeto-modelo científico ao objeto-modelo mecânico concreto analógico didático ou da esfera celeste ao modelo do MAS.....	53
A transposição didática: do saber sábio ao saber ensinado	65
2.2.1 Alguns aspectos acerca do saber sábio, do saber a ensinar e do saber ensinado	68
2.2.2 Transposição didática e o exercício da vigilância epistemológica	72
2.2.3 Etapas da preparação didática	75
2.2.4 O tempo de ensino e o tempo de aprendizagem em torno do texto do saber	78
3 AMBIENTES DE APRENDIZAGEM E AS CONCEPÇÕES PRÉVIAS EM ASTRONOMIA	83
3.1 O ensino de astronomia em ambientes formais e não-formais de aprendizagem.	83
3.1.1 O ensino em processo interativo: representações teatrais e representações diplomáticas	87

3.2	Concepções prévias no ensino de astronomia.....	93
4	O PROCESSO EXPERIMENTAL.....	116
4.1	Concepções prévias: alguns elementos encontrados na pesquisa.....	119
4.1.1	A posição do nascimento do Sol ao longo do ano.....	119
4.1.2	A sombra Solar em Caxias do Sul.....	124
4.1.3	A duração do dia claro	130
4.2	Ambientes de aprendizagem, objetos-modelo didáticos e modelizações: um resumo das atividades.....	133
4.2.1	Na sala de aula: o texto do saber	134
	Sobre a esfera celeste.....	137
	Sobre o plano do horizonte.....	139
4.2.2	No laboratório de física: o modelo Terra-Sol.....	144
	O verão	146
	O outono	148
	O inverno.....	150
4.2.3	No museu de ciências da UCS: a sessão no planetário inflável.	153
	Localizando os pontos cardeais	155
	O movimento anual aparente do Sol.....	156
	O Sol na estação de verão em Caxias do Sul.....	156
	O Sol na estação de primavera e outono em Caxias do Sul	159
	As três trajetórias aparentes do Sol trabalhadas simultaneamente	159
	O movimento aparente do Sol para a linha do Equador	160
	O movimento aparente do Sol para o Polo Sul.....	161
4.2.4	Na sala de aula: a modelização do modelo do movimento anual aparente do Sol (o modelo do MAS).....	163
	Ajustando o modelo para Caxias do Sul e Macapá	165
	O posicionamento ideal de uma casa em Caxias do Sul.....	166
	O movimento aparente do Sol em Londres (~ 52° Hemisfério Norte)	168

4.3 A ENTREVISTA: o momento de saber o que realmente ficou e o que realmente mudou em termos de conhecimento	171
Em relação às diferentes direções do nascimento do Sol ao longo do ano	172
Em relação à projeção da sombra solar nos objetos ao meio-dia solar	175
Em relação à duração aproximada do dia claro	177
Outros resultados importantes:	179
CONCLUSÃO.....	188
REFERÊNCIAS	193
Anexo A: O Questionário.....	201
Anexo B: O texto do Saber.....	202
Anexo C: Tabelas da usno	206
Anexo D: A entrevista	208
Anexo E: Analogias substanciais e analogias formais.....	209

INTRODUÇÃO

Iniciaremos com uma palavra a respeito do contexto no qual se desenvolve este trabalho. Inúmeras pesquisas no âmbito do ensino em astronomia têm demonstrado que os alunos do ensino fundamental e médio trazem para a escola concepções prévias ou ideias do senso comum a respeito do Universo e do Sistema Solar, ideias que são resistentes a mudanças e na maioria das vezes se encontram em desacordo com as concepções científicas (VILLANI, 1989; BARRABÍN, 1995; FRANCO, 1998; BISCH, 1998; LEITE, 2002; TEODORO, 2004; LIMA, TREVISAN & LATTARI, 2005; SCARINCI & PACCA, 2005, 2006; LANGHI & NARDI, 2007, 2009; entre outros).

Nesses estudos parece ser de consenso a ideia de que as principais causas para a manutenção das concepções prévias dos alunos, muitas delas errôneas, estão diretamente ligadas à falta de material específico e atualizado e à falta de métodos adequados que permitam a sua confrontação. Os autores chamam a atenção para alguns problemas conceituais presentes em livros didáticos de ciências e geografia, principalmente aqueles que dizem respeito aos modelos bidimensionais: representações planas que não facilitam o entendimento das formas, distâncias e da espacialidade dos objetos celestes enquanto corpos cósmicos.

Desse modo, esses pesquisadores sugerem que toda e qualquer forma de ensino em astronomia deve começar identificando as concepções prévias dos alunos para poder confrontá-las e assim tentar aproximá-las das concepções científicas. Por outro lado, indicam que uma maneira possível de superar a precariedade de alguns livros didáticos, muitas vezes o único material disponível nas escolas, é o desenvolvimento de atividades de exploração, elaboração e construção de modelos tridimensionais, visto que estes podem de fato facilitar o ensino e a aprendizagem dos objetos do saber astronômico.

Mas o que é um modelo? Essa é, de fato, a primeira questão sobre a qual se debruça esta dissertação. Qual a função dos modelos? Que relação há entre modelos, teorias e realidade? Os modelos da ciência seriam os mesmos utilizados no ensino de ciências?

Estas e outras perguntas constituem uma parcela das questões que tentaremos discorrer ao longo dessa dissertação. Entretanto, ao mesmo tempo em que buscamos reunir alguns aspectos teóricos para apresentá-las, também propomos uma investigação a partir do uso prático de modelos para o ensino e aprendizagem de alguns fenômenos naturais com um grupo de 11 alunos do último ano do ensino médio de uma escola de Caxias do Sul – RS.

Mais precisamente, sobre aqueles fenômenos que dizem respeito ao movimento anual aparente do Sol, as diferentes direções do seu nascimento e a duração aproximada do dia claro para qualquer região da Terra, em qualquer época do ano.

Como se desenvolveu a investigação? Realizando inicialmente um levantamento histórico e epistemológico da noção de modelo na ciência e depois analisando as concepções de modelo no ensino de ciências chegamos à noção de modelo que propomos para o ensino em astronomia, a saber, a noção de “objeto-modelo mecânico concreto analógico didático”, ou simplificada, objeto-modelo didático, designando o conjunto de modelos didáticos por nós utilizado.

Recorrendo à epistemologia dos modelos de Mário Bunge (1974), tentaremos mostrar que os “objetos-modelo” têm um papel fundamental na investigação científica já que eles são o primeiro passo para o desenvolvimento conceitual da realidade. Para Bunge, os objetos-modelo funcionam como “pontes” de ligação entre as teorias e a realidade, operando muitas vezes como instrumentos de validação empírica de uma teoria, em outras mais, dando origem a novos objetos-modelo e a novas teorias.

Porém, baseados em pressupostos da didática das ciências, entendemos que certos tipos de objetos-modelo por apresentarem um alto grau de abstração e um apanhado de variáveis e generalizações que tentam dar conta de um determinado domínio da realidade, são instrumentos problemáticos para serem empregados diretamente na escola e por isso necessitam passar por um processo de “transposição didática”, transformando-se em modelos possivelmente mais fáceis de serem ensinados e apreendidos, isto é, convertendo-se em objetos-modelo didáticos.

Chegamos então ao objetivo central da dissertação. Tomando como ponto de partida a questão das concepções prévias em astronomia, nosso principal objetivo nessa dissertação foi investigar, do ponto de vista da teoria da transposição didática, a pertinência do uso de ambientes de aprendizagem centrados em atividades de modelização, ou seja, em atividades de exploração, elaboração e construção de objetos-modelo didáticos.

Acreditamos que a escolha da teoria da transposição didática justifica-se por poder fornecer alguns pressupostos metodológicos e epistemológicos essenciais para a transposição de uma parcela do “saber sábio” ou saber científico – saber desenvolvido e aceito dentro de uma determinada comunidade científica (por ex: na astronomia) – para o “saber ensinado” ou saber escolar – saber adaptado e reelaborado pelo professor para ensinar aos seus alunos (CHEVALLARD, 2005).

Por que utilizar modelos? Constatamos que não são poucos os pesquisadores no âmbito do ensino de ciências que têm enfatizado a importância da utilização de modelos didáticos em atividades de ensino (MARTINAND, 1994-5; ASTOLFI & DEVELAY 1995; PIETROCOLA 1999; CONCARI, 2001; PINHEIRO, PIETROCOLA & ALVES FILHO, 2001; GALAGOVSKY & ADURIZ-BRAVO, 2001; CUPANI & PIETROCOLA, 2002; ADURIZ-BRAVO & MORALES, 2002) Há muitos comentários de que a utilização de imagens, figurações e objetos concretos na constituição dos modelos didáticos parece facilitar o entendimento daquelas ideias mais abstratas ou menos intuitivas, difíceis de serem compreendidas pelos alunos iniciantes. No entanto, mesmo sendo representações mais familiares e bastante próximas da linguagem utilizada pelos estudantes, os modelos didáticos são muitas vezes ambíguos e merecem um cuidado redobrado quando utilizados na escola pois, podem inversamente, dificultar o entendimento das ideias que estão a eles atreladas, isto é, dos conceitos que carregam.

Os modelos não são, entretanto, prerrogativa dos ambientes escolares. Eles são decisivamente importantes para os cientistas na elaboração e teste de suas teorias. Mas, nesse momento, focaremos a questão dos modelos no âmbito do ensino – aprendizagem. No ensino de ciências os modelos didáticos não são vistos apenas como representações intuitivas que se utilizadas adequadamente podem facilitar a aprendizagem das ideias da ciência, pelos alunos; a sua potencialidade está em seu papel ou em sua função: de um lado, os modelos são entendidos como instrumentos que conduzem ao conhecimento e a compreensão (CONCARI, 2001) de alguns aspectos da realidade; de outro lado, são entendidos como instrumentos que permitem explicar, prever (MARTINAND, 1994-5; ASTOLFI & DEVELAY, 1995; PINHEIRO, PIETROCOLA & ALVES FILHO, 2001), manipular, calcular e formular alguns dos aspectos levantados sobre ela (PINHEIRO, PIETROCOLA & ALVES FILHO, 2001).

Chegamos então ao problema de pesquisa. Levando em consideração alguns aspectos da epistemologia bungeana dos modelos e outros aspectos da didática das ciências, *nosso problema de pesquisa foi identificar se, na via da transposição didática, os objetos-modelo didáticos permitem de fato a transposição do saber sábio ao saber ensinado*. Ou seja, identificar se alguns dos saberes aceitos cientificamente hoje pela astronomia passam a se constituir em saberes possíveis de serem ensinados e aprendidos na escola, por meio da utilização destes instrumentos.

Buscando viabilizar o processo da transposição didática desenvolvemos um conjunto de ambientes de aprendizagem, permeados por uma pluralidade de objetos-modelo didáticos, de tal maneira que os alunos tivessem a possibilidade de estudar um mesmo conjunto de

fenômenos através de diferentes pontos de vista. O ambiente caracteriza o meio, o local, o espaço em que os objetos-modelo didáticos foram disponibilizados para o estudo. Porém, entendemos que a caracterização de um ambiente de aprendizagem deve-se mais à forma em que pesquisador, alunos e objetos-modelo didáticos interagem neste espaço.

Dentre os inúmeros objetos-modelos didáticos utilizados nessa investigação, daremos ênfase ao modelo do movimento anual aparente do Sol: o modelo do MAS (desenvolvido por alguns integrantes do grupo de pesquisa do ensino de astronomia da Universidade de Caxias do Sul - RS), publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física em 2010.

Esboçaremos a seguir, resumidamente, a estrutura do trabalho. Esta dissertação está dividida em quatro capítulos. Nos primeiros três capítulos apresentamos alguns aspectos teóricos que embasam a nossa investigação e, no último capítulo, apresentamos alguns resultados das práticas de modelização realizadas com o grupo de estudantes.

No primeiro capítulo, intitulado “os modelos na ciência: uma breve abordagem histórica e epistemológica” apresentamos alguns aspectos históricos e epistemológicos da noção de modelo científico desde sua inserção na ciência no início do século XX até a sua concepção mais contemporânea. O cenário é limitado às ciências formais (matemática e lógica) e as ciências factuais (em especial à física).

Analisando algumas discussões entre filósofos da ciência e cientistas sobre as diferentes noções de modelo na ciência, partimos do final do século XIX onde aparecem os modelos mecânicos e as analogias em física (1860), passamos pelos modelos em lógica matemática e pelos modelos matemáticos (1920), depois pelos objetos-modelo e seus modelos teóricos (1950) e chegamos à metade final do século XX onde se encontram os modelos computacionais (1980).

Depois de olharmos para todo esse contexto, percebemos que atualmente não é mais possível dizer de modo universal o que é um modelo. O que é um modelo? Um desenho, um diagrama, um esboço, uma ilustração, um objeto concreto (maquete), uma estrutura matemática (modelo simbólico), um software de computador, uma cópia de alguma coisa (modelo icônico), tudo isso pode ser considerado modelo de algo. Tomados no sentido epistemológico todos podem ser considerados como estruturas concretas ou abstratas que visam de alguma forma representar alguns aspectos de uma determinada realidade - coisa ou fato (BUNGE 1974), fenômeno (LE MOIGNE 1987). Porém, entendemos que o mais importante em uma modelo, seja ele, abstrato ou concreto, tangível ou intangível, são as teorias específicas que carregam ou seus modelos teóricos (BUNGE, 1974). Ao final do

capítulo comentamos, sumariamente, sobre a função dos modelos na ciência e suas relações com as teorias e com a realidade.

Justificamos a pertinência dessa contextualização histórica e epistemológica da noção de modelo científico para a educação escolar a partir da constatação de que os modelos são largamente empregados no ensino de ciências, constituindo-se em verdadeiros “modelos didáticos”, a partir de um processo denominado “transposição didática”.

O segundo capítulo, intitulado “os modelos no ensino de ciências e o processo da transposição didática” está dividido em três subcapítulos.

No primeiro subcapítulo, intitulado “modelos e modelizações: uma forma de promover uma educação científica escolar” apresentamos algumas pesquisas no âmbito do ensino de ciências que trabalham com a noção de modelo e de modelização; trata-se de estudos entre diferentes grupos de pesquisa (brasileiros, franceses, argentinos e espanhóis) que enfatizam a importância do uso de modelos enquanto instrumentos que auxiliam no ensino e na aprendizagem de ciências; e a prática da modelização enquanto atividade de exploração, elaboração e construção de modelos que estimulam o desenvolvimento de uma educação científica escolar.

Apesar de existir entre estes pesquisadores algumas divergências de concepções no que diz respeito às funções atribuídas aos modelos e as teorias, notamos que todas elas parecem ir ao encontro da concepção Bungeana dos modelos (objetos-modelo), pois atribuem aos modelos a posição de intermediários entre as teorias e a realidade, entre as teorias e os referentes empíricos, entre as teorias e as observações e, além disso, entendem o seu caráter hipotético, idealizado e aproximativo da realidade, sem nunca atingi-la completamente.

Desse modo, no segundo subcapítulo, intitulado “os modelos segundo a epistemologia Bungeana” realizamos em síntese, num primeiro momento, uma análise e interpretação da epistemologia dos modelos segundo a visão de Mário Bunge (1974), que numa posição realista crítico do conhecimento científico defende um entendimento conceitual da realidade através da construção de objetos-modelos e de seus modelos teóricos.

Nessa seção tentamos mostrar que os modelos para o filósofo da ciência, Mario Bunge, são a verdadeira essência da atividade científica, sua construção torna-se o primeiro passo para a compreensão da realidade, que se dá inicialmente por meio de simplificações e idealizações, isto é, através do que ele denomina objetos-modelo. Porém, os objetos-modelos são de pouca valia para a ciência factual se não forem engastados em teorias gerais, de onde adquirem seus modelos teóricos ou teorias específicas, que estes sim podem fornecer explicações e previsões da realidade.

Segundo o ponto de vista de Bunge existem basicamente dois tipos de objetos-modelo: o do tipo conceitual ou o que denominamos “científico” e o do tipo figurativo, material ou concreto ou o que denominamos “didático”. Ambos são entendidos como representações conceituais de alguma coisa ou fato real, ou supostamente real, em investigação; dito de outra maneira, um objeto-modelo é um objeto que representa em algum aspecto, alguma coisa ou fato observado ou até mesmo imaginado da realidade em estudo. Porém, há uma diferença entre eles. Diferentemente dos objetos-modelo do tipo material, os objetos-modelo do tipo conceitual são aqueles que não necessitam de uma representação figurativa para existirem, a sua capacidade está em sua propriedade teórica ou conceitual mais do que em sua capacidade psicológica ou estética.

Notamos que há uma preocupação de Bunge com o uso dos objetos-modelo do tipo figurativo, material ou concreto para o entendimento conceitual da realidade uma vez que nem sempre é possível representarmos a realidade através de coisas visíveis ou por meio de objetos familiares. Por isso ele defende que a realidade “não é sempre, nem simplesmente tal, como parece aos nossos sentidos. O conhecimento perceptivo é deficiente ‘e deve ser enriquecido pelo conhecimento conceptual, particularmente o teórico’ (CUPANI & PIETROCOLA, 2002, p.4). Nesse sentido, os objetos-modelo do tipo conceitual são os que realmente importam na atividade científica.

Entretanto, apesar de nos chamar a atenção para o uso de imagens ou figurações na ciência, uma vez que elas podem em alguns casos nos confundir e não nos deixar entender o que está para além do observável ou do perceptível, Bunge não as ignora completamente, e percebe que em certos casos, tais formas de representação da realidade, por terem uma força de natureza psicológica mais do que lógica, quando em uso, também possibilitam ao cientista a compreensão e o conhecimento de alguns aspectos da realidade. Nesse sentido, em função de sua natureza, os objetos-modelo do tipo figurativo, material ou concreto parecem ser os mais adequados para o ensino de ciências, pois, estão reduzidos a uma linguagem mais familiar e intuitiva, tornando-se assim, objetos mais fáceis de serem pensados pelos alunos iniciantes e, conseqüentemente, supostamente mais fáceis de serem ensinados e apreendidos (CUPANI & PIETROCOLA &, 2002).

Levando isso em consideração, num segundo momento, concordando com os didatas da ciência, Galagovsky & Aduriz-Bravo (2001); Aduriz-Bravo & Morales (2002), entendemos que os modelos científicos são o ponto de partida para a construção dos modelos didáticos. Devido ao seu alto grau de abstração e formalização, com seu apanhado de hipóteses e generalizações que tentam dar conta de um determinado domínio da realidade, os

modelos científicos utilizados na escola são geralmente problemáticos por apresentarem uma linguagem pouco comum aos estudantes, distanciando-se em muito da linguagem e dos conhecimentos prévios que estes possuem. Dessa maneira, concordando com os autores, focalizamos que ensinar ciências naturais na escola requer uma transposição dos modelos científicos para uma forma didática, isto é, requer a elaboração de modelos didáticos.

Nesse sentido, em “Do objeto-modelo científico ao objeto-modelo mecânico concreto analógico didático ou da esfera celeste ao modelo do MAS”, exemplificamos como ocorre a transposição de um objeto-modelo científico: a esfera celeste, para um objeto-modelo mecânico concreto analógico didático: o modelo do movimento anual aparente do Sol (o modelo do MAS) e estabelecemos de modo geral a noção de modelos que estamos propondo para o ensino e aprendizagem de alguns objetos do saber astronômico na escola.

Assim sendo, os objetos-modelo mecânicos concretos analógicos didáticos ou simplesmente objetos-modelo didáticos, empregados nessa dissertação, passam a ser entendidos como adaptações, reelaborações, reconstruções, ou melhor, re-representações de objetos-modelo científicos e se encontram delimitados teoricamente na fusão entre a epistemologia Bungeana dos modelos e a didática das ciências.

No terceiro subcapítulo, em “A transposição didática: do saber sábio ao saber ensinado”, realizamos em síntese, uma análise e interpretação de parte da teoria da transposição didática desenvolvida pelo didata das matemáticas Yves Chevallard e alguns de seus comentadores, a qual adotamos alguns pressupostos epistemológicos e metodológicos para transpor uma parcela do saber sábio astronômico (saber científico) para o saber ensinado (saber escolar).

Conforme Chevallard (2005) existem três instâncias pelas quais um determinado saber transita antes de se transformar em um objeto de ensino. Chevallard denominou-as “saber sábio”, que é o saber desenvolvido e dominado pelos cientistas, pesquisadores, ou especialistas (acadêmicos), o “saber a ensinar”, que é o saber transposto do saber sábio para os livros didáticos, programas de ensino e demais materiais destinados ao ensino, e o saber ensinado que é o saber que surge do “saber a ensinar”, do qual se utiliza o professor no preparo de suas aulas.

Fundamentalmente, a transposição didática (TD) trata da passagem de elementos do saber sábio até a sua apresentação em forma de um saber ensinado, que pode ser chamado de saber escolar. Essa passagem, por sua vez, não ocorre de maneira tão simples; segundo o autor, existe uma série de fatores, agentes e instituições que intervêm direta ou indiretamente

na forma pela qual uma parcela do saber sábio vem a se configurar como uma parcela do saber ensinado.

Estes saberes, em cada uma das instâncias de sua elaboração ou desenvolvimento, apresentam diferenças de linguagem e de níveis de produção; enquanto uns se encontram atrelados ao âmbito científico, com uma linguagem mais abstrata, outros estão atrelados ao âmbito escolar, com uma linguagem menos abstrata, comum e, portanto, adaptados ao ensino. Suas elaborações em diferentes níveis de produção sofreriam influências do “entorno social” que, de um lado, é composto pelo grupo dos acadêmicos, pelo ministério da educação e seus subordinados, fazendo parte da “sociedade de peritos”: são os principais responsáveis por decidir quais saberes devem ou não ser transpostos para os livros didáticos ou outros materiais destinados ao ensino. Encontram-se ainda nesse entorno social os professores do nível básico, responsáveis por preparar seu material de ensino, via de regra a partir dessas produções. De outro lado, é também composto pela “sociedade laica”, esfera onde se encontram, por exemplo, os pais dos alunos e seus familiares.

Essas diferentes sociedades, segundo Chevallard (2005), teriam uma ligação direta e indireta no que ele denomina “noosfera”, a esfera maior do processo de transposição, o lugar onde ocorrem os conflitos, as negociações, onde se buscam soluções para os problemas didáticos, e mesmo para alguns dos problemas oriundos da sociedade e de suas necessidades. Todo esse contexto é apresentado pelo autor em um breve esquema teórico que permite pensar as relações sociais, educacionais e políticas que permeiam o sistema de ensino voltado aos saberes matemáticos.

Percebemos que Chevallard (2005) tenta colocar em pauta um aspecto bastante amplo e complexo, nas relações do sistema educacional com suas influências externas e internas, em torno do saber sábio no processo de sua transposição ao saber ensinado. Esse processo é denominado pelo autor de “transposição didática *lato sensu*”, ou seja, o trabalho de análise sobre entrada de um objeto do saber matemático, no saber sábio (na ciência), e de suas transformações ao longo dos tempos ao ser transposto para o saber a ensinar e deste, para o saber ensinado (na escola).

Não nos ateremos à análise ou discussão das influências sociológicas e políticas em torno dos saberes astronômicos utilizados nessa dissertação, o que poderia ser feito com maior cuidado em outra dissertação, talvez na linha do currículo, por exemplo. Nosso intuito nessa investigação será o de trabalhar na “transposição didática *stricto sensu*”, isto é, trabalhar na transposição [...] de um conteúdo preciso em uma versão didática desse objeto do saber [...]

(CHEVALLARD, 2005, p.46). Esse trabalho é essencialmente uma dimensão epistemológica e metodológica da transposição didática (TD).

Para isso, faremos uso de alguns elementos da TD, utilizando-nos de alguns de seus pressupostos teóricos para tentar transpor uma parcela do saber sábio, aceito na literatura científica astronômica atual, em um saber possível de ser ensinado e aprendido na escola. E essa tentativa dar-se-á através do uso de objetos-modelo didáticos. Com essa finalidade, os pressupostos que estamos nos valendo são os da “vigilância epistemológica”, os da “preparação didática” do saber ensinado e da sua distribuição no decorrer de um certo intervalo de tempo, o “tempo didático”. Pressupostos que serão mais bem discutidos ao longo desse subcapítulo.

O terceiro capítulo, intitulado “ambientes de aprendizagem e as concepções prévias em astronomia” está dividido em dois subcapítulos.

No primeiro subcapítulo, intitulado “o ensino de astronomia em ambientes formais e não-formais de aprendizagem” apresentamos um esboço sobre o que tem sido entendido por educação formal, não formal e informal e seus respectivos ambientes de aprendizagem utilizados em educação em astronomia.

Por *educação formal* considera-se toda e qualquer prática educacional desenvolvida em escolas, colégios ou demais estabelecimentos que possuam uma estrutura bem definida, um planejamento adequado e sistematizado a fim de promover atividades de ensino. Sua implantação está atrelada a “elevados graus de intencionalidade e institucionalidade” e sua “obrigatoriedade garantida por lei” (LANGUI & NARDI, 2009, p. 4402-2). Nesse sentido pode-se pensar na sala de aula e nos seus laboratórios como tipos de ambientes de aprendizagem mais usual presente na educação formal em astronomia.

Por *educação não formal*, entende-se toda e qualquer prática educativa fora do âmbito escolar. A educação não formal é caracterizada por não obedecer a nenhuma lei obrigatória e por isso os indivíduos que dela participam estariam livres para escolher os métodos e os conteúdos que desejam aprender. Nesse sentido, os ambientes de aprendizagem que fazem parte da educação não formal em astronomia são os museus de astronomia, as feiras de astronomia, os planetários, os clubes de astronomia, etc. locais não necessariamente livres de intencionalidade ou sistematização, mas, sobretudo independentes da educação formal.

Por *educação informal*, entende-se toda e qualquer forma de educação livre, cotidiana ocasionada mediante a relação ou vivência entre as pessoas; a educação informal “não possui intencionalidade e tampouco é institucionalizada, pois é decorrente de momentos não organizados e espontâneos do dia-a-dia durante a interação com familiares, amigos e

conversas ocasionais” (idem, p. 4402-3). Em astronomia os ambientes de aprendizagem da educação informal vão além do espaço físico, vão além da sala de aula, do planetário, dos museus de astronomia, etc. eles ocorrem em situações diversas tais como naqueles “momentos de convívio durante uma observação casual do céu estrelado, [ou durante] uma visita a um colega que possua um telescópio [...]” (idem, p. 4402-3).

De acordo com Langui & Nardi (2009), ainda são poucos os trabalhos no ensino de astronomia que levam em consideração a educação formal, não formal e informal conjuntamente. Geralmente, encontram-se trabalhos isolados e limitados a uma ou outra forma de educação, a uma ou outra forma de ambiente de aprendizagem, favorecendo mais a uma divulgação, disseminação ou difusão do que uma “popularização” da astronomia, um termo mais adequado do que os outros por levar em consideração as concepções prévias dos envolvidos.

Em nosso trabalho, os ambientes formais e não formais de aprendizagem segundo a terminologia exposta são utilizados de forma conjunta e formam a base do nosso processo de estudo. O ambiente caracteriza o local, o espaço, o meio utilizado para que o uso de objetos-modelo didáticos em atividades de modelização possa viabilizar o processo da transposição didática, ou seja, permitam a passagem de alguns elementos do saber sábio, colocados sob a forma de um saber a ensinar em saber ensinado, transformando-o em um saber possível de ser aprendido. Passamos inicialmente pela sala de aula (ambiente formal de aprendizagem) onde disponibilizamos para leitura e debate um “texto do saber” (CHEVALLARD, 2005); depois vamos ao museu de ciências onde se encontra o planetário inflável (ambiente não formal de aprendizagem, porém utilizado como um ambiente formal), depois mais ao laboratório de física (ambiente formal de aprendizagem) para a modelização do modelo Sol-Terra e por fim voltamos à sala de aula para a modelização do modelo do MAS.

No entanto, consideramos que o que caracteriza um ambiente de aprendizagem, tanto formal ou não formal, utilizado de forma sistemática e intencional, isto é, organizado e adaptado para fins de ensino, em busca de possíveis aprendizagens, não é apenas o local em si, embora sejam cenários construídos ou elaborados sobre um espaço físico permitindo a utilização de objetos-modelo didáticos entre outros recursos, eles se caracterizam por serem espaços sociais, locais onde os alunos possam interagir, trocar informações e buscar soluções para seus questionamentos (VALENTINI & SOARES, 2005).

No sentido acima exposto, a fim de permitir que os alunos interagissem com os objetos-modelo didáticos, com os outros alunos e com o pesquisador durante as atividades de modelização, em seus diferentes ambientes de aprendizagem, seguimos um método de ensino

que pode ser mais bem entendido sobre “uma dupla metáfora: a da representação teatral e a da representação diplomática” (LE MOIGNE, 1977, p. 88). Ambas, são entendidas como ações que representam diferentes ações que coordenam as atividades de modelização entre professor, alunos e objetos do saber. O que será melhor explorado ainda neste subcapítulo, na subseção: “o ensino em processo interativo: representações teatrais e representações diplomáticas”.

No segundo subcapítulo, intitulado “Concepções prévias no ensino da astronomia” apresentamos algumas pesquisas que estudam as concepções prévias de alunos e professores do ensino básico em astronomia e fornecem alguns subsídios para que elas sejam transformadas. Os diversos autores que analisamos indicam que os alunos chegam para as aulas de ciências com concepções prévias, espontâneas, alternativas ou de senso comum, que são resistentes a mudanças e que dificultam o ensino e aprendizagem das concepções científicas. Desse modo, sustentam que é necessário identificar as ideias de senso comum dos alunos e encontrar meios para poder confrontá-las e transformá-las a fim de aproximá-las das ideias da astronomia.

Algumas sugestões de melhorias são apresentadas pelos pesquisadores, entre elas, a utilização de modelos didáticos tridimensionais em suplemento aos modelos didáticos bidimensionais presentes em livros didáticos de ciências e geografia que, por sua vez, dificultam o entendimento das formas, distâncias e da espacialidade dos objetos astronômicos.

Ao longo desse subcapítulo apresentamos algumas concepções prévias de alunos e professores levantadas por Barrabín (1995), Bisch (1998) e Leite (2002), a respeito de questões que tratam sobre pontos cardeais; estações do ano; a alternância entre o dia e a noite; concepções que constituem uma parcela dos assuntos por nós investigados no decorrer da pesquisa. Os dados encontrados nos serviram como fonte de comparação com as concepções prévias dos alunos investigados em nossa pesquisa e que serão apresentadas no decorrer do quarto e último capítulo.

Agora, nos reportaremos aos resultados empíricos obtidos: o quarto e último capítulo, intitulado “o processo experimental” está dividido em três subcapítulos.

No primeiro subcapítulo, intitulado “concepções prévias: alguns elementos encontrados na pesquisa” apresentamos algumas concepções prévias identificadas em nossa pesquisa com o grupo de alunos já mencionado. Concepções que estão diretamente ou indiretamente ligadas ao movimento aparente do Sol, as quais foram recolhidas mediante a aplicação prévia de um questionário contendo três perguntas abertas.

O método que utilizamos para análise e interpretação dos dados encontrados nestes questionários foi o da “análise textual discursiva” de Moraes & Galiazzi (2007). Um método frequentemente utilizado em pesquisas de natureza qualitativa, em que o pesquisador mediante o processo da leitura coloca-se a descrever e interpretar alguns sentidos encontrados em um conjunto de textos; entendendo texto como qualquer tipo de mensagem, linguagem e discurso, sejam eles de natureza verbal ou simbólica.

No segundo subcapítulo, intitulado “Ambientes de aprendizagem, objetos-modelo didáticos e modelizações: um resumo das atividades” apresentamos em síntese, uma descrição de como se deu as práticas de modelização em cada ambiente de aprendizagem. Da sala de aula ao laboratório de física e destes ao planetário inflável do museu de ciências da UCS os alunos foram envolvidos em atividades de exploração, elaboração e construção de objetos-modelos didáticos, convergindo em especial para a modelização do modelo do MAS. Utilizando ainda o método da análise textual discursiva de Moraes & Galiazzi (2007) procuramos descrever e interpretar como se deu a interação entre pesquisador, alunos e objetos do saber astronômico em cada um desses espaços.

No terceiro subcapítulo, intitulado “A ENTREVISTA: o momento de saber o que realmente ficou e o que realmente mudou em termos de conhecimento” apresentamos algumas prováveis mudanças nas concepções prévias dos alunos após participarem das atividades de modelização. Momento em que tentamos focalizar para algumas reações dos alunos no que diz respeito ao uso dos objetos-modelos didáticos, e também verificar, o quanto as suas concepções sobre os fenômenos naturais em estudo foram afetadas. Para a identificação dessas pós-concepções realizamos uma entrevista semi-estruturada em que os estudantes foram submetidos de forma individual, por aproximadamente 10 minutos, a responder a seis perguntas. Para a análise e interpretação dos dados também utilizamos o método da análise textual discursiva de Moraes & Galiazzi (2007). Nesse momento, a fim de obtermos um maior poder de análise, utilizamos gravadores de áudio e vídeo para captar as vozes e gestos dos participantes. Todas as atividades, a contar da aplicação do questionário, das oficinas de modelização e das entrevistas semi-estruturadas, contabilizaram aproximadamente 11 horas.

Verificamos que a maioria das concepções prévias apresentadas pelos estudantes no início da pesquisa (no questionário), depois de analisadas, debatidas e confrontadas através do estudo e do uso de objetos-modelos didáticos em diferentes ambientes de aprendizagem, foram no final modificadas, sendo que muitas delas se aproximaram das concepções científicas astronômicas.

Além disso, percebemos que os objetos-modelos didáticos empregados, foram fundamentais para que as concepções de senso comum dos alunos fossem revistas e reelaboradas. Em muitas passagens ao longo da investigação tentamos ilustrar o quanto estes instrumentos lhes permitiram o conhecimento e a compreensão de alguns aspectos da realidade em estudo. Principalmente o modelo do movimento anual aparente do Sol (o modelo do MAS) que permitiu aos alunos não só o conhecimento e a compreensão de alguns aspectos do movimento aparente do Sol; das diferentes posições do seu nascimento ao longo do dia; da duração aproximada do dia claro para diversas regiões do planeta, como também permitiu a geração de explicações e previsões acerca desses fenômenos naturais.

Porém, apesar de constatarmos o bom número de alunos que obtiveram sucesso nas atividades de modelização, conseguindo modificar as suas concepções prévias, aprendendo e agregando novos conhecimentos ao seu sistema cognitivo, mesmo assim, percebemos que alguns alunos apresentaram dificuldades em operacionalizar com o modelo do MAS, não conseguindo produzir explicações e previsões da realidade em estudo.

Acreditamos que um dos motivos do fracasso destes alunos pode estar na não compreensão da natureza intuitiva deste objeto-modelo didático enquanto uma re-representação de um objeto-modelo científico, isto é, estes alunos tiveram dificuldades em compreender que o modelo do MAS, apesar de construído em forma de objetos concretos, contém no seu interior uma gama de conceitos que o colocam em funcionamento e o permitem modelizar alguns fenômenos naturais.

Esperamos com essa pesquisa oferecer subsídios aos professores da escola básica que desejam aproveitar desse objeto-modelo didático para preparar suas aulas ou até mesmo para criar as suas próprias modelizações.

1 OS MODELOS NA CIÊNCIA: UMA BREVE ABORDAGEM HISTÓRICA E EPISTEMOLÓGICA

Sempre quando tentamos entender o sentido pelo qual uma palavra está sendo empregada e em consequência buscamos o seu significado nos deparamos com uma tarefa bastante desafiante! Quando escutamos a palavra “modelo”, a sua imagem acústica ou significante (aquilo que soa aos nossos ouvidos) somos levados a pensar nos vários sentidos em que ela pode ser empregada. A palavra ou termo modelo pode ser utilizada no sentido metafísico, estético, ético, epistemológico adquirindo assim diferentes significados (MORA, 2001).

De acordo com o linguista Ferdinand de Saussure (1857-1913) há uma relação dicotômica entre o som emitido por uma palavra: sua imagem acústica ou significante e o que ela pode dizer enquanto ideia, conceito, significado (SALVAT, 1979, p. 37-8). A palavra “modelo” é um exemplo disso! Constitui-se num signo linguístico nos termos do linguista, uma estrutura composta por significante e significado. Um signo linguístico pode ser entendido como uma entidade psíquica, uma espécie de representação construída pelo cérebro: que ao escutarmos o som de uma palavra (significante) tentamos atribuir a ela um conceito (significado).

Dessa forma, tomado no sentido metafísico, o significante modelo pode significar “o modo de ser de certas realidades, ou supostas realidades” (MORA, 2001, p. 480-81). Nesse aspecto, “[...] o modelo é aquilo a que tende toda realidade a fim de ser o que é, ou seja, a fim de ser plenamente ela mesma, em vez de ser uma sombra, uma cópia, uma diminuição ou um desvio do que é” (idem). De acordo com o autor, o modelo corresponde nesse caso à própria realidade. Trata-se aí, das “idéias ou formas platônicas” que consideradas como paradigmas se tornam modelos. Quando utilizados nesse sentido, paradigma e modelo são algumas vezes tomados como sinônimos. Porém, existem “diferenças subtis mas importantes entre as palavras ‘paradigmas’, ‘teoria’ e ‘modelo’, já anunciava Jhon D. Steinbruner (1974 *apud* L. MOIGNE, 1976, p. 60). Os paradigmas permitem um olhar peculiar sobre os modelos e sobre as teorias. “Paradigma refere-se a um conjunto de hipóteses fundamentais e críticas com base nas quais as teorias e os modelos podem desenvolver-se. Teorias e modelos são mais específicos...” (idem).

No sentido estético, o significante modelo pode significar aquilo que o artista plástico, o engenheiro, o arquiteto, de um lado, procuram reproduzir em estrutura, em molde, em

pintura. De outro lado, pode se referir àquela mulher ou homem que representam um ideal de beleza em uma determinada sociedade, podendo assim “ser equiparado a um valor ou série de valores, objetivos ou supostamente objetivos, que seriam os modelos últimos de toda realização estética” (MORA, p. 481).

Empregado no sentido ético, o significante modelo pode significar o comportamento de uma pessoa frente a um determinado grupo. Um comportamento que pode servir de exemplo ou não para outras pessoas; Como se acredita, Jesus Cristo tem sido um modelo no sentido ético para muitas pessoas. Da mesma forma, um pai ou um professor também podem ser considerados um modelo para seu filho ou para seus alunos, mesmo sem o saber (idem).

Agora, quando tomado num sentido epistemológico, o sentido que nos interessa tratar nesse capítulo mais do que realizar uma profunda investigação da polissêmica palavra modelo, seu significante adquire significados variados, embora todos pareçam situar-se entre dois sentidos mais usuais: modelo como representação de algo pré-existente, cópia de alguma coisa, ou modelo como representação simplificada, abstrata e idealizada da realidade.

Nesse capítulo, nossa intenção é apresentar alguns aspectos históricos e epistemológicos da noção de modelo na ciência, bem como algumas discussões entre filósofos da ciência e cientistas quanto aos seus usos e limitações na investigação científica. Para isso, limitamo-nos ao intervalo que vai do final do século XIX ao final do século XX. Daremos destaque às ciências formais (matemática e lógica) e as ciências factuais (física, química, biologia).

Justificamos a importância desse levantamento histórico e epistemológico da noção de modelo científico para a educação escolar a partir da constatação de que os modelos são largamente empregados no ensino, constituindo-se assim em verdadeiros “modelos didáticos”, a partir de um processo (que será estudado em detalhe no segundo capítulo dessa dissertação) denominado “transposição didática”.

A origem etimológica da palavra modelo, de acordo com Armatte (2005, p.92. Tradução nossa.) vem inicialmente do latim *modulus* que significava “a medida arbitrária utilizada para determinar relatórios de proporção entre as partes de uma obra de arquitetura”. Aparece depois, na idade média, no francês como *moule* (molde), no inglês como *mould* e no alemão como *mold*. Encontra-se também, durante o período Renascentista Italiano, entre os séculos XIV e XVI, *modello*, que em francês tornava-se *modèle*, em inglês *model* e em alemão *modell*. Essas transformações da noção de modelo, que antes era utilizada por artesãos, pedreiros e arquitetos aos poucos foram sendo incorporadas à área científica, com uma consequente adaptação de seus significados, como será visto a seguir.

1.1 A INSERÇÃO DA NOÇÃO DE MODELO NA CIÊNCIA: O MODELO MECÂNICO E AS ANALOGIAS EM FÍSICA.

Há indícios de que apenas no início do século XX a noção de modelo surge na ciência. Embora seu uso seja um pouco anterior, remontando ao século XVIII e XIX onde era utilizado entre os astrônomos como sinônimo de sistema (LE MOIGNE, 1987, p. 1; LOUÂPRE, 2007, p.5), sua entrada enquanto elemento epistemológico deu-se um pouco mais tarde. Falar sobre modelos em física antes de 1860, em matemática antes de 1900 e em ciências sociais antes de 1920 seria cometer uma espécie de anacronismo de vocabulário, já que “nem Pascal, nem Descartes, nem Newton, nem Laplace falam de modelização para descrever o que eles fazem” (ARMATTE, 2005, p. 93).

De acordo com Le Moigne (1977, p. 23; 1987, p.1) e Armatte (2005, p. 94) é com Suzanne Bachellard (1983) que se dá o resgate da inserção da noção de modelo no debate científico, num artigo publicado pelo físico austríaco Ludwig Edward Boltzmann (1844 – 1906) em 1902, na décima segunda edição da enciclopédia britânica, intitulado “Model”.

Partindo inicialmente de áreas artísticas e técnicas a noção de modelo emerge na investigação científica, no corpo das ciências físicas, mecânicas e matemáticas como representações de objetos: “ representação tangível... de um objeto que tem uma existência real ou é uma construção factual ou mental”, como bem identificou Armatte (idem.) nas considerações de Boltzmann (1902):

Há muito tempo os filósofos perceberam a essência do nosso processo de pensamento no fato de que **nós ligamos aos objetos reais em torno de nós atributos físicos particulares - nossos conceitos - e por meio desses tentamos sinalizar esses objetos ao nosso espírito.** Tais opiniões foram no passado consideradas por matemáticos e físicos, como nada mais do que especulações inférteis, mas elas foram recentemente intimamente associadas por Maxwell, Helmholtz, Mach, Hertz, e muitos outros ao corpo inteiro da teoria matemática e física. De acordo com estes pontos de vista, **nossos pensamentos estão para as coisas na mesma relação que os modelos estão para os objetos que eles representam.** A essência do processo é a fixação de um conceito com um conteúdo definido para cada coisa, **mas sem implicar numa completa semelhança entre coisa e pensamento; pois naturalmente não sabemos quase nada sobre a semelhança entre nossas ideias e as coisas às quais nós as ligamos.** O que é essa semelhança repousa principalmente sobre a natureza da ligação, a correlação sendo análoga aquela que obtemos entre pensamento e linguagem, entre linguagem e escrita, entre sons musicais e notas sobre a pauta, etc... (BOLTZMANN, 1902 *apud* ARMATTE, 2005, p. 94. Tradução e grifo nosso).

De fato, esta parecia ser a noção predominante na investigação científica entre a metade final do século XIX e início do século XX, essa noção é também denominada “modelo mecânico”, entendido como representações de objetos reais (concretos) ou mentais (abstratos) para a compreensão dos fenômenos naturais ou físicos (Armatte, 2005; Le Moigne 1987). Comenta-se que essa acepção de modelo estava presente em muitos dos trabalhos de Boltzmann, nos quais as propriedades macroscópicas da matéria eram compreendidas através de suas propriedades microscópicas com auxílio de conceitos da mecânica (DAHMEN 2007, p. 22). Ainda segundo Dahmen (idem), “esta sua predileção por modelos mecânicos, que inclusive o aproximou de Maxwell, foi a espinha dorsal do seu *modus operandi* e colocou-o posteriormente em rota de colisão com grandes cientistas da sua época”¹.

O desenvolvimento desse tipo de modelo que se dava em experimentações em laboratório relacionando objetos reais (maquetes de madeira, metal ou papelão) e objetos mentais (equações matemáticas) para o estudo do movimento dos gases, dos elétrons, entre outros, ocorria geralmente através do emprego das analogias. Boltzmann valia-se ao mesmo tempo de um “transporte analógico” e de um “suporte matemático que permite de identificar a analogia estrutural [ou substancial] e de automatizar este transporte. Temos aí uma condição forte da noção de modelo, conceito que a distingue de uma simples matematização” (ARMATTE, 2005, p. 95).

Ao contrário de alguns cientistas de sua época que apresentavam uma preocupação lógica quase que obsessiva na constituição de seus modelos, o físico (Boltzmann) via uma “continuidade entre os modelos materiais e os modelos matemáticos” (ARMATTE, 2005, p.95), embora sua atenção estivesse realmente dirigida ao nível conceitual dessas formas de representação.

Essa relação de transporte analógico entre modelos materiais (maquetes) e modelos matemáticos (equações) como auxiliares na construção de algumas teorias físicas era de modo semelhante também empregado pelo físico e matemático James Clerk Maxwell (1831-1879)². A esse respeito, Nagel (1961, *apud* DUTRA, 2005, p. 210) apresenta dois tipos gerais de analogias utilizadas por Maxwell em seus experimentos. Trata-se das analogias substanciais e das analogias formais.

¹ Cf. o físico teórico Silvio Renato Dahmen (2007, p. 21), alguns físicos dessa época, como Wilhelm Ostwald (1853-1932), Georg Helm (1851-1923) e Ernst Mach (1838-1916) questionavam a falta de significado nas analogias empregadas por Boltzmann.

² Maxwell e Boltzmann foram contemporâneos e contribuíram para o desenvolvimento das leis da termodinâmica.

Nas analogias do primeiro tipo [ou substanciais], supõe-se que um sistema de elementos que possui certas propriedades já conhecidas, que se supõe estarem relacionadas das maneiras conhecidas como enunciadas em um conjunto de leis do sistema, é um modelo para a construção de uma teoria em relação a um segundo sistema.

No segundo ou no tipo formal de analogia, o sistema que serve de modelo para construir uma teoria é alguma estrutura conhecida de relações abstratas, em vez de ser, como nas analogias substantivas, um conjunto de elementos mais ou menos visualizáveis que se correlacionam mutuamente em relações conhecidas. (NAGEL, 1961, p. 110-1 *apud* DUTRA, 2005, p. 210).

Um exemplo de analogias substanciais pode ser encontrado na teoria cinética dos gases, onde as moléculas seriam representadas por pequenas esferas rígidas em permanente movimento caótico. Para as analogias formais a nova noção de massa que emerge da teoria da relatividade é um exemplo de como o formalismo matemático da mecânica clássica foi usado como modelo para a ereção de uma nova teoria.

As analogias substanciais teriam na ciência, segundo Hempel (*apud* Dutra, 2005, 210-2) um valor heurístico ou didático, permitindo a busca de uma similaridade entre coisas, elementos, objetos distintos ao nível do material (do concreto, do tangível) enquanto as analogias formais, segundo Dutra (2005, p. 212) estariam mais bem relacionadas a uma similaridade ao nível do conceitual (do abstrato, do intangível).

Segundo o economista Michel Armatte (2005, p. 96-7) por algum tempo viu-se o domínio das analogias no desenvolvimento dos modelos mecânicos (científicos) para a constituição das teorias em física, em especial nas primeiras duas décadas do século XX, onde elas tomaram uma “posição central e irreversível [...]”. Mais precisamente as analogias do tipo formal (essencialmente matemáticas) que um pouco depois de 1920 passariam a compor os modelos em lógica matemática³.

1.2 A NOÇÃO DE MODELO EM LÓGICA MATEMÁTICA: A ABORDAGEM SEMÂNTICA

Uma outra noção de modelo científico que começa a se desenvolver entre os anos de 1920 e que se estenderá até meados de 1950 à 1970 (ARMATTE, 2004, p. 244) vem a ser o da abordagem semântica, no interior da lógica matemática.

³ Uma forma interessante de entendermos esses dois tipos de analogias para a constituição dos modelos e suas possíveis utilizações na busca por uma similaridade entre objetos distintos, pode ser encontrada no anexo E, conforme recolhemos das considerações feitas por Mário Bunge (1974, p. 185-189).

Em um breve resgate histórico Armatte (2004) alude os vários acontecimentos que se sucederam até o seu primeiro desenvolvimento. Seus traços são oriundos da tentativa de matemáticos, lógicos e filósofos em criar uma base unitária, segura e precisa, inicialmente, para as matemáticas: geometria, álgebra, análise, aritmética que estariam entre o primeiro quarto do século XIX e início do século XX com problemas internos em seus fundamentos. E, posteriormente, essa base seria estendida para toda a ciência em desenvolvimento⁴.

Segundo o lógico e filósofo da ciência, Luiz Henrique de Araújo Dutra (2005, p. 205; 2006, p. 252) alguns cientistas e filósofos da ciência que defendem a abordagem semântica, entre eles, Frederick Suppe (1977) e Bas van Frassen (1980) sustentam que as teorias científicas devem ser interpretadas como “coleções ou famílias de modelos”. Para Bas Van Frassen (1980), essas coleções ou famílias de modelos são basicamente representações de objetos matemáticos também denominados por ele como “semânticos” ou “metamatemáticos”, usualmente “utilizados pelos lógicos na interpretação, por exemplo, de linguagens de primeira ordem” [...]: “o que se costuma denominar modelo matemático” (idem)⁵.

O modelo matemático na abordagem semântica é utilizado pelos lógicos para interpretar se os teoremas⁶ de uma determinada teoria são verdadeiros ou falsos (SUPPE, 1977 *apud* DUTRA, 2005). Estes cientistas e filósofos da ciência, de modo geral (exceto Van Frassen) fazem uso de uma estrutura formal oriunda da teoria dos conjuntos:

Trata-se, neste caso, de uma estrutura composta do par ordenado $\langle U, I \rangle$, sendo que U é uma coleção de indivíduos dos quais falamos, e I é uma função interpretação, que dá nomes aos indivíduos de U , e especifica a extensão dos predicados e relações pertencentes à linguagem de primeira ordem na qual a teoria é formulada, tal como o tema é explicado nos livros de lógica elementar (DUTRA, 2005, p. 215).

Segundo Michel Armatte (2004, 2005) e Amy Dahan Dalmedico (2004) essa noção de modelo semântico, sobre uma abordagem formalizada e logicizada, toma uma posição central na lógica matemática, permitindo importantes avanços na própria matemática e em outros

⁴ Retomar todo esse contexto de crise nas matemáticas bem como buscar todas as suas causas seria um processo muito extenso e complexo. O que gostaríamos de evitar, nos centrando apenas na noção do modelo ela mesma. Um estudo resumido desse momento tenso na filosofia da matemática pode ser encontrado em: *As origens do pensamento matemático e a crise dos fundamentos*. Disponível em: http://aparaciencias.org/vol-1.2/06_Joaquim%20p.%2059-65.pdf Acesso em: Ago de 2010.

⁵ Para ter uma ideia do que significa linguagem de primeira ordem e modelo matemático na concepção da lógica, especialmente da teoria dos conjuntos, acesse: <http://www.pdfqueen.com/pdf/lo/logica-e-teoria-de-conjuntos/>

⁶ proposições que podem ser demonstradas por um processo lógico (HAUASSIS). Dicionário Online

campos do conhecimento (especialmente nas engenharias) estendendo-se até meados de 1970, onde, com a grande utilização dos computadores e da informática essa forma de modelagem (ou modelização) perde destaque para a simulação.

1.3 OS MODELOS NO ADVENTO E APÓS SEGUNDA GUERRA MUNDIAL: MODELO MATEMÁTICO, OBJETOS-MODELO E MODELO TEÓRICO.

O emprego da linguagem matemática em várias áreas do conhecimento adquiriu sua hegemonia numa época em que os homens gostariam de não mais recordar. Foi com o advento da Segunda Guerra mundial, de acordo com Mario Bunge (1974), que o desenvolvimento de pesquisas em inúmeras áreas do conhecimento *não-físico* (psicologia, sociologia, medicina, economia, entre outros) passou a se dar através da construção de metodologias e teorias por meio da utilização dos modelos matemáticos. Isso levou o autor a afirmar que:

A ciência contemporânea não é apenas experiência planejada, executada e entendida a luz de teorias. Tais teorias apresentam-se muitas vezes envoltas em linguagem matemática: toda teoria específica é, na verdade, um modelo matemático de um pedaço da realidade (BUNGE, 1974, p.10).

De acordo com Carl Boyer (1996, p.435) foi neste episódio tenso da história da humanidade que muitos matemáticos alemães e de países sob o poder da Alemanha foram expulsos por Hitler e pelo Partido Nacional Socialista; muitos deles acabaram aportando nos Estados Unidos da América (EUA). Lá, conforme Bunge (1974, p. 12) e Armatte (2005, p. 112) se encontraram com outros matemáticos, físicos, biólogos, engenheiros, psicólogos, entre outros profissionais e promoveram inúmeros núcleos de pesquisa universitária com tendência interdisciplinar, muitos dos quais se encontravam a serviço das indústrias e do desenvolvimento militar norte Americano.

Segundo Armatte (2005, p.112), foi a partir desse momento que se deu um grande avanço no desenvolvimento de novas áreas da matemática, principalmente no setor da matemática aplicada, entre elas, “A álgebra dos grupos, a teoria dos jogos, teoria das preferências, a programação linear, a programação dinâmica, a teoria dos grafos, os testes sequenciais [...]”, o que permitiu de igual modo, o nascimento de outras disciplinas e muitas outras teorias, entre elas: “a teoria geral dos sistemas, a cibernética, a teoria da informação,

[...] a sociologia matemática [...] a lingüística matemática [...] a biologia matemática e a psicologia matemática”. (BUNGE, 1974, p. 12.)

As matemáticas aplicadas se caracterizam então pela aplicação dos objetos matemáticos ao estudo e desenvolvimento de outras áreas do conhecimento, sejam elas científicas, tecnológicas ou industriais. Elas geralmente fazem uso de um processo chamado de modelagem matemática que “transforma uma situação/questão escrita na linguagem corrente e/ou proposta pela realidade, em linguagem simbólica da matemática [...]” (CHAVES & ESPIRITO SANTO, 2008, p.1). Essa linguagem simbólica e todas as suas relações possíveis constituem-se nos modelos matemáticos (BIEMBENGUT, 1999, p. 20) utilizados para descrever e explicar essa situação ou questão. No entanto, é preciso ter claro que nem todo modelo matemático deve ser entendido como modelo no sentido semântico da lógica matemática, isto é, nem todo modelo matemático está atrelado a um sistema formal conjuntista - tal como apresentado anteriormente no exemplo fornecido por Dutra (2005) (ARMATTE, 2004, p. 246-7).

De acordo com Bunge (1974, p.13), quando possível, o emprego dos modelos matemáticos para a resolução dos problemas científicos e para a construção das teorias científicas surgiu como uma forma de trazer mais precisão e clareza para muitas teorias de outras áreas que faziam uso quase que exclusivo da estatística nesse empreendimento, procurando mais a acumulação de dados ou fatos do que realmente buscando a sua compreensão.

Essa “revolução científica” ocorrida a partir de 1950, conforme caracteriza o autor, não se trata de uma “substituição de uma teoria científica por outra: foi o esforço de teorização em campos até então não-teóricos” (1974, p. 13), trata-se do uso de uma “nova metodologia” que há muito tempo fora “monopolizada pela física” e que passa a ser aplicada a outros ramos da ciência. Nessa nova abordagem encontra-se o método hipotético-dedutivo⁷, e uma de suas características está à criação de “objetos-modelo” e dos “modelos teóricos” - ou teorias específicas como ele também designa - (idem).

⁷ O método hipotético-dedutivo é apenas um dos muitos caminhos empregados pela ciência para a resolução dos problemas científicos. De acordo com Kaplan (1972, p. 12) o método hipotético-dedutivo é entendido como aquele em que “... o cientista, através de uma combinação de observação cuidadosa, hábeis antecipações e intuição científica, alcança um conjunto de postulados que governam os fenômenos pelos quais está interessado, daí deduz ele, as conseqüências por meio da experimentação e, dessa maneira, refuta os postulados, substituindo-os, quando necessário por outros e assim prossegue”. (in Torres, J. método dedutivo vs método indutivo [online]) disponível em: <http://precodosistema.blogspot.com/2008/04/mtodo-dedutivo-vs-mtodo-indutivo.html> Acesso em Ago de 2010.

1.3.1 Os objetos-modelo e seus modelos teóricos: os intermediários entre as teorias gerais e os dados empíricos.

Para Mário Bunge (1974) o desenvolvimento conceitual para a compreensão da realidade inicia-se por meio de idealizações e categorizações das coisas ou fatos. Estas idealizações e categorizações somente são possíveis por meio da construção de objetos-modelo ou modelos conceituais dessas coisas ou fatos. (p.13) “A formação de cada modelo começa por simplificações, mas a sucessão histórica dos modelos é um progresso de complexidade”. (p.14). Conforme Bunge, os modelos são construções da observação, da intuição e da razão que submetidos à experiência podem apresentar tanto as suas qualidades quanto seus limites. Seu papel está na tentativa de apreensão da realidade:

[...] para apreender o real começa-se por afastar-se da informação. Depois, se lhe adicionam elementos imaginários (ou entes hipotéticos) mas com uma intenção realista. Constitui-se assim um objeto-modelo mais ou menos esquemático e que, para frutificar devesse ser enxertado sobre uma teoria suscetível de ser confrontada com os fatos. (BUNGE, 1974, p.16).

Nessa mesma perspectiva, um objeto-modelo (OM) somente pode ser confiável para determinar algo a respeito de uma determinada realidade (coisa ou fato) se, e somente se, for construída uma teoria específica ou modelo teórico para ele. Dito de outra forma, uma teoria que especifique o comportamento do objeto modelado pelo OM. Desse modo, uma teoria que seja inserida no OM apenas pode ser considerada como modelo teórico de alguma coisa ou fato se, e somente se, especificar as suas peculiaridades. Nesse sentido “[...] um modelo teórico é um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo, que é, por sua vez, uma representação conceitual esquemática de uma coisa ou de uma situação real ou suposta como tal [...]” (p.16). Dito de outra maneira é através do seu modelo-teórico que o objeto-modelo pode, enfim, gerar explicações e previsões da realidade. “Um objeto modelo, portanto, é uma representação de um objeto: ora perceptível, ora imperceptível, sempre esquemático e, ao menos em parte, convencional” (p. 22).

Ainda de acordo com o filósofo da ciência, Mário Bunge (1974), os modelos em geral, ou melhor, os OM(s), possuem uma relação com as coisas ou fatos, na verdade eles têm a capacidade de representá-los. E essa relação não é biunívoca e sim “multívoca”, no sentido em que a relação entre o modelo e a coisa ou entre o modelo e os fatos podem ser inúmeras e vão depender sempre dos meios disponíveis e dos objetivos que se tem. E comenta ainda: “Um objeto-modelo, mesmo engenhoso, servirá para pouca coisa, a menos que seja encaixado

em um corpo de ideias no seio do qual se possam estabelecer relações dedutivas” (p. 23). No geral, este corpo de ideias se transforma em um modelo teórico (quando apresentar coerência em relação aos fatos) e quando se refere a um objeto real ou suposto real se transforma em uma teoria específica deste objeto. Porém, um modelo teórico poderá apresentar coerência ou não somente se estiver ancorado por uma ou mais de uma teoria geral.

Segundo Maurício Pietrocola (1999, p. 15), Custódio & Pietrocola (2000, p. 3), os modelos (objetos-modelo e seus modelos teóricos) no sentido empregado por Bunge, são os responsáveis por identificar as relações entre as “teorias” e os “dados empíricos”. Assim, encontram-se “como intermediários entre as duas instâncias limítrofes do fazer científico: conceitos e medidas” (p.15). Na interpretação dos autores, Bunge percebe essa necessidade de modelização na ciência como mediadora entre as teorias gerais e os dados empíricos, uma vez que, as primeiras por serem “abstrações produzidas por nossa razão e intuição não se aplicariam *a priori* às coisas reais”. Da mesma forma, “os dados empíricos apesar de mais próximos da realidade, não podem ser inseridos em sistemas lógicos e gerar conhecimento” (1999, p.15). Essa mediação somente é possível por meio da construção de objetos-modelo.

O físico e epistemólogo Maurício Pietrocola (1999, p. 16), citando Bunge (1973, p. 53) nos oferece um apanhado de situações em Física que são dessa forma “modelizadas pela ciência”:

“SISTEMA	OBJETO MODELO	MODELO TEÓRICO	TEORIA GERAL
Lua	Sólido esférico girando em torno do seu eixo, em rotação à volta de um ponto fixo, etc.	Teoria Lunar	Mecânica clássica e teoria gravitacional
Luar	Onda eletromagnética polarizada plana	Equações de Maxwell para o vácuo	Eletromagnetismo clássico
Pedaço de gelo	Cadeia linear causal de contas	Mecânica estatística de cadeias causais	Mecânica estatística
Cristal	Grade mais nuvens de elétrons	Teoria de Bloch	Mecânica Quântica”

Ao observarmos o quadro acima, percebemos melhor o que Bunge (1974) denomina objeto-modelo, que pode ser caracterizado como “qualquer representação esquemática de um objeto” (p.32), podendo assim, ter a forma de um desenho (pictóricos ou figurativos), de um

material concreto (por ex: sólido esférico) ou de uma estrutura conceitual (por ex: onda eletromagnética), embora, segundo o autor, aqueles que realmente interessam para a ciência enquanto construtores e validadores de teorias são os do tipo conceitual:

[...] as teorias específicas ou modelos teóricos encerram objetos-modelo do tipo conceitual mais do que representações visuais ou figurativas. Sem dúvida, é possível sempre descrever o modelo com o auxílio de um diagrama e mesmo, às vezes, com a ajuda de um modelo material – tais como os modelos esféricos de moléculas: este auxilia a compreender as idéias difíceis e algumas vezes a inventá-las. Não obstante, nem diagramas nem análogos materiais podem representar o objeto de uma maneira tão precisa e completa como o faz um conjunto de enunciados. (BUNGE, 1974, p. 25-6).

O fato é que a representação por meio de um objeto-modelo é sempre parcial, ou dito de outra forma, nem todos os elementos pertencentes à realidade são por ele capturados; e sempre convencional, isto é, a construção de um objeto-modelo dependerá sempre dos objetivos do modelizador. “A fim de conseguir um modelo teórico, o objeto-modelo tem de ser expandido e engastado em uma moldura teórica. Ao ser absorvido por uma teoria, o objeto-modelo herda as peculiaridades desta e, em particular, suas leis” (BUNGE, p. 34) De modo semelhante, “Todo modelo teórico é parcial e aproximativo: não aprende senão uma parcela das particularidades do objeto representado” (idem, p. 30). Deste modo, pode não sobreviver por muito tempo. Os modelos teóricos, quando não dão mais conta de aprender certos aspectos do objeto representado podem dar origem a novos objetos-modelo e a novas teorias gerais⁸.

Contudo, Bunge (1974) percebe que o emprego dos objetos-modelo e dos seus modelos teóricos “não se mantém nas áreas das ciências em desenvolvimento, onde a construção atua centrifugamente, fora dos objetos-modelo, na maior parte do tempo” (p.36). Este parecer ser o caso de algumas áreas das engenharias e da pesquisa operacional conforme passamos a discutir.

⁸ De acordo com Bunge (1974, p. 28-9), os modelos teóricos não devem ser confundidos com os modelos no sentido semântico. Os modelos nesse último sentido devem tornar verdadeiras todas as teorias que se colocam a interpretar. Nos modelos teóricos no melhor das hipóteses “algumas de suas conseqüências comprováveis se mostram aproximadamente verdadeiras”.

1.4 OS MODELOS A PARTIR DE 1980: OS COMPUTADORES NAS SIMULAÇÕES DE SISTEMAS COMPLEXOS

De acordo com Waliser (1994, *apud* Armatte e Dalmedico, 2004, p. 244), a partir dos primeiros trabalhos em lógica matemática, desde 1920 a 1970, todas as noções de modelo na ciência estavam bastante ligadas a “concepção de um modelo que ‘representa’ um real capturado ao mesmo tempo por uma teoria e por uma observação quantificada”. De um modelo que serve como instrumento de validação empírica de uma teoria. No entanto, essa concepção a partir de 1980 em algumas áreas da ciência como nas engenharias e na pesquisa operacional não se faz mais de forma predominante⁹.

Devido à complexidade dos objetos estudados por essas áreas, e as inúmeras variáveis envolvidas, como por exemplo, os problemas da climatologia na previsão do tempo, os novos desafios em medicina, problemas em economia, problemas em logística, em meio ambiente, entre outros, vê-se a ausência de uma teoria completa que dê sustentação para a apreensão da realidade; surge deste modo a necessidade do desenvolvimento de novas teorias e de novos instrumentos. É nesse sentido que o autor identifica uma nova abordagem de modelo na ciência, ligada ao uso dos computadores nas simulações:

O modelo torna-se um mecanismo de integração de dados produzidos por um sistema de informação. O modelo, conjuntos de equações, conversões, de dados que se transformaram em um software, constitui um sistema de substituição ao sistema real, do qual não se tem teoria completa, e que permite fazer experiências fictícias, para compreender o jogo complexo das suas interações. E estas experiências fictícias constituem efetivamente uma metodologia de substituição, em relação ao método hipotético-dedutivo assim como em relação ao método experimental, no caso dos sistemas complexos. (ARMATTE 2005, p. 113. Cf. nota 43 – Tradução nossa)

Ainda segundo Armatte (2005), a partir da segunda guerra mundial o computador deixa de ser uma simples máquina de calcular e passa a desempenhar o papel de uma máquina de reunir uma grande densidade de dados e teorias, tratando de um vasto número de informações que até então eram intratáveis de outra maneira; de forma semelhante, ele nem

⁹ Cf. Fernando Augusto Silva Marins: pesquisa operacional é um termo de origem militar, surgido pela primeira vez na segunda guerra mundial. Inicialmente, uma disciplina desenvolvida para tomada de decisão em estratégias militares. Atualmente é considerada como uma ciência aplicada a várias áreas do conhecimento. De cunho interdisciplinar, vale-se de inúmeras metodologias para a resolução de problemas científicos. Disponível em: <http://www.feg.unesp.br/~fmarins/po/livroPO.pdf> Acesso em: Ago de 2010.

sempre exerce o papel de intermediário entre teoria e dados empíricos, deixando também de se basear apenas em um *sistema formal* (aquele empregado em lógica matemática) em busca da delimitação de um sistema físico ou social: “[...] o modelo não é mais apenas uma estrutura matemática que representa uma teoria, ele torna-se uma dupla representação parcial e orientada (pelo objetivo que se tem e pelo estado do sistema de observação e de medida) [...]” (ARMATTE, 2005, p. 112-3).

Busca-se a partir de então, através da simulação por *software*, antecipar o comportamento dos fenômenos para poder inferir sobre eles. Trata-se de uma técnica bastante empregada na pesquisa operacional que reside no “uso do computador para *imitar* (simular) a operação de um inteiro processo ou sistema” antes mesmo de testar a sua validade no mundo real, comentam os gestores da ciência e engenharia, Frederick S. Hillier & Gerald J. Lieberman (2006, cap. 20, p.1), apresentando vários exemplos da utilização do computador em pesquisa operacional. As simulações ou imitações ou experiências fictícias são formas de perceber ou inventar a realidade (ou as supostas realidades) difíceis de ser interpretadas e conhecidas; técnicas que vão desde a “análise de risco em processos financeiros” até ao desenvolvimento de simuladores de vôo para “*imitar* o desempenho de um avião de verdade em um ambiente controlado” (idem). Nestes novos métodos de modelagem ou modelização um sistema parece deixar de ser considerado como conjunto de elementos em interação para passar a um conjunto de elementos em interação “complexo”, o que parece ser denominado atualmente, sistema complexo.

No interior desse breve cenário histórico e epistemológico tentamos apresentar algumas discussões entre filósofos da ciência e cientistas a respeito da noção de modelo científico nas ciências formais (lógica e matemática) e factuais (física, química, biologia). Embora seja um cenário preliminar e incipiente, não nos permitindo retirar todas as consequências históricas e filosóficas possíveis, nos permitimos finalizar com algumas conclusões mais gerais sobre as possíveis relações entre os modelos e as teorias.

1.5 O QUE É MODELO, AFINAL?

1) Atualmente, não se pode mais definir de modo “universal” o que é um modelo, como bem lembrava Le Moigne (1987, p.1-6). O que é um modelo? Um desenho, um diagrama, um esboço, uma ilustração, um objeto concreto (maquete), uma estrutura

matemática (modelo simbólico), um software de computador, uma cópia de alguma coisa (modelo icônico), tudo isso pode ser considerado modelo de algo. Tomados no sentido epistemológico todos podem ser considerados como estruturas concretas ou abstratas que visam de alguma forma representar alguns aspectos de uma determinada realidade - fato ou coisa (BUNGE 1974), fenômeno (LE MOIGNE 1987).

2) Sejam modelos concretos ou abstratos, tangíveis ou intangíveis, visualizáveis ou inteligíveis, icônicos ou simbólicos o que os define como bons ou maus modelos é a estrutura teórica que carregam, ou como diria Bunge (1974), o seu modelo teórico. Pode-se dizer então, acordando com Armatte & Dalmedico (2004, p. 294), que: um modelo não tem tanto valor em si mesmo, se não naquilo que ele faz e para aquilo que ele serve. Parece que mais importante do que encontrar uma única e precisa definição para a polissemia da palavra “modelo” é procurar saber a sua funcionalidade. A partir de Bunge (1974) podemos entender que os modelos (objetos-modelo) funcionam como “pontes” de ligação entre as teorias e a realidade, operando muitas vezes como instrumentos de validação empírica de uma teoria, em outras mais, dando origem a novos objetos-modelo e a novas teorias.

3) Os modelos científicos são entendidos como idealizações da realidade e não a própria realidade. No máximo alguns de seus aspectos, alguns de seus referentes são por ele representados. Sendo assim, sempre existirão elementos da realidade que escapam ao modelo e a sua teoria subjacente.

4) Considerando que os modelos científicos apresentam limites de representatividade e, sejam eles concretos ou abstratos, o que os define como bons ou maus modelos são os seus modelos teóricos ou as teorias específicas que carregam (BUNGE, 1974). É possível partirmos dessa posição e olharmos para outra direção, conforme sugerem Simon e Newell (1956, p. 68), e considerar que as teorias científicas também cometem os mesmos pecados. Isto é, uma teoria científica, entendida como um “conjunto de afirmações ou sentenças declarativas” sejam elas matemáticas ou verbais que visam expressar através do seu conteúdo lógico a verdade sobre os fenômenos, pecam por erros de “omissão” e de “comissão”. Nos erros do primeiro tipo as teorias não falam toda a verdade sobre a realidade dos fenômenos, elas sempre omitem alguma coisa; nas do segundo tipo, da mesma forma, existiria algo que elas deveriam dizer, porém, não dizem, poderíamos dizer que elas “mentem” sobre a realidade. Conforme mencionam a seguir:

A mais conspícua inadequação das teorias é que elas não contam toda a verdade; elas possuem um conteúdo muito menor que o dos fenômenos. Empréstimo um termo da estatística, podemos chamar esses erros de omissão de “erros do tipo I”.

Mas penso que pode ser mostrado que praticamente todas as teorias erram também na outra direção – elas dizem coisas que não são, como também falham em dizer coisas que são. Podemos chamar esses erros de comissão de “erros do tipo II”. Na medida em que as teorias cometem erros do tipo II - afirmando algumas coisas além da verdade – elas possuem, por certo, um conteúdo total maior que o dos fenômenos (SIMON & NEWELL, 1956, p. 68. Tradução nossa).

Simon e Newell (1956) entendem que as teorias científicas são compostas por um “conteúdo lógico” e um “conteúdo psicológico”. Por conteúdo lógico eles se referem “aos fatos que podem ser extraídos dela [da teoria] através da aplicação das leis da lógica”. E por conteúdo psicológico “as proposições empíricas que o cientista é de fato capaz de derivar dela”. (p. 68) Ambos os conteúdos são de grande valor para o cientista, porém o conteúdo psicológico é o que pode lhe dar acesso às afirmações da teoria em relação aos fatos¹⁰. Percebendo que as teorias científicas não dizem toda a verdade sobre os fenômenos, sugerem que os cientistas deveriam sempre procurar detectar e evitar erros de omissão e comissão.

Para finalizar, a pergunta que nos cabe fazer então: por que os cientistas não abrem mão dos modelos em suas atividades?

Uma resposta pertinente: simplesmente por que os modelos, de modo geral, permitem um acesso ao conteúdo psicológico da teoria! Outra resposta cabível: os modelos enquanto idealizações da realidade podem ser entendidos como potentes formas de representação do conhecimento. Nessa mesma perspectiva, e concordando com Suzanne Bachelard (1983, *apud* Le Moigne, 1987, p.3) diríamos ainda: “O modelo é um intermediário a quem delegamos a função de conhecimento”, ou seja, ele é um instrumento que nos permite conhecer algo da realidade. Mas uma suposição mais esclarecedora ainda coloca muito bem a ideia de Mario Bunge que tentamos mostrar anteriormente: “[...] muitas vezes são construídos modelos porque a teoria completa [ou geral] seria algo muito complexo com o que trabalhar; assim, são introduzidas idealizações que permitem ao cientista produzir resultados significativos com recursos limitados” (FRENCH, 2009, p. 44). Nesse sentido, são os modelos que permitem inferir diretamente sobre os fenômenos e assim testar a plausibilidade, a veracidade da teoria geral em relação à realidade.

Os modelos científicos enquanto simplificações e idealizações da realidade são verdadeiras criações do pensamento, e como tal são necessariamente instrumentos falhos

¹⁰ “O conteúdo lógico de uma teoria é utilizável para ele apenas na medida que ele possa tornar esse conteúdo explícito por meio de manipulações da teoria, tal como colocada. Toda a matemática (e a lógica verbal, na medida em que é rigorosa) é uma grande tautologia. A surpresa que é ocasionada pelo teorema de Pitágoras deriva das propriedades psicológicas da matemática – da nova informação obtida ao processar as afirmações explícitas da teoria matemática – não de sua lógica” (id, 1956, p. 69. Tradução nossa).

numa certa medida, são recursivos, são de fato meios para o conhecimento e embora não seja possível ficar sem eles, também não é desejável a eles se submeter de forma irrestrita (ULMO, 1969 *apud* ARMATTE, 2005).

2 OS MODELOS NO ENSINO DE CIÊNCIAS E O PROCESSO DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

Inúmeros pesquisadores no âmbito do ensino de ciências há algum tempo vêm realizando estudos teóricos e práticos para mostrar a necessidade e a importância da promoção de atividades de modelagem e modelização na escola como propulsoras de uma educação científica escolar. A esse respeito encontram-se diversos trabalhos interessantes na literatura de línguas portuguesa, espanhola e francesa: (Cudmani & Sandoval, 1991; Larcher, 1994-5; Martinand, 1994-5; Astolfi & Develay, 1995; Galagovsky & Aduriz-Bravo, 2001; Pietrocola 1999, 2001; Custódio & Pietrocola, 2000; Concari, 2001; Pinheiro, Pietrocola & Alves-Filho, 2001; Aduriz-Bravo & Morales, 2002; Machado e Vieira, 2008)¹¹.

Embora algumas vezes possam ser empregados como sinônimos, modelagem e modelização, entendidas como formas de exploração, elaboração e construção de modelos para o entendimento da realidade dos fenômenos físicos e naturais, não devem ser confundidas, são noções utilizadas em diferentes áreas. Enquanto a primeira é bem mais difundida no ensino da matemática, a segunda é empregada no ensino de ciências naturais (entenda-se no ensino de física, de química e de biologia). A diferença parece estar nos seus objetos para representação, ou dito de outra forma, na linguagem que utilizam para representar: modelar ou modelizar os fenômenos. Enquanto naquela geralmente vê-se o emprego dos objetos matemáticos na constituição dos modelos – modelos matemáticos¹², nesta, são utilizados mais como uma extensão, servindo algumas vezes como auxílio, embora, nem sempre os seus modelos sejam necessariamente matematizáveis. Eles são encontrados em alguns casos na forma de desenhos, imagens, símbolos, diagramas, objetos tridimensionais, entre outros objetos menos abstratos. Daqui para frente, daremos mais ênfase à modelização, no sentido acima exposto¹³.

¹¹ Entre muitas outras pesquisas é importante mencionar também o trabalho de Krapas, Queiroz & Colinviaux, (1997) que levantam uma série de noções de modelo empregadas no ensino de ciências presentes na literatura de língua inglesa.

¹² Um centro de referência importante sobre o emprego de modelos matemáticos no ensino encontra-se em: <http://www.furb.br/cremm/>

¹³ De acordo com Le Moigne (1977) “A modelização é, talvez paradoxalmente, uma idéia nova nos procedimentos científicos (e portanto nos do conhecimento e da ação refletida). Mas desde a proclamação de H. Simon, ela é uma idéia cada vez mais popular e fecunda, não apenas no domínio das ciências sociais e das ciências do homem [...] mas também, desde há pouco tempo, nos domínios da ciência da vida[...] e das ciências físicas [...]” (p. 89).

Segundo Martinand (1994-5) a modelização é uma importante atividade no ensino de ciências e de tecnologias. É na passagem do concreto ao abstrato, do abstrato ao concreto, do teórico ao experimental, num processo de vai e vêm entre observações e teorias que se encontra o modelo como fonte mediadora de representação do conhecimento.

Conforme o ponto de vista do autor a modelização é uma atividade criadora em que o modelizador se coloca a construir e adaptar os seus modelos a fim de representar a realidade observada ou imaginada, o que ele denomina “referente empírico”, isto é, objetos e fenômenos ou as ações realizadas sobre estes. Os modelos tornam-se assim, representações hipotéticas e idealizadas dos referentes empíricos, modificáveis e condicionadas à resolução de problemas específicos, podendo ser empregados tanto para representar um fenômeno, um objeto, um evento, visando apresentá-lo em sua estrutura ou forma, quando possível, tanto quanto para explicá-lo do ponto de vista do seu funcionamento ou de suas causas.

Na escola, comenta Martinand, o importante não é o modelo em si, mas a atividade de construção e de concepção do modelo, isto é, como os alunos entendem essas representações, como eles os fabricam, quais relações estabelecem entre os modelos e as teorias, entre os modelos e as situações modelizadas e quais significados atribuem a partir daí. Assim é que [...] “a modelização pode se tornar uma [potente] ferramenta de exploração do mundo” [...] (MARTINAND, 1994-5, p. 38).

De igual modo, essa visão sobre modelos e modelizações também é compactuada pelos didatas da ciência Astolfi & Develay (1995) que percebem nos argumentos de Martinand (1987) duas características principais desenvolvida pelos modelos na representação da “realidade natural e técnica contemporânea” (p. 103):

- 1) Facilitam a representação daquilo que está por detrás dos objetos e ou fenômenos, isto é, daquilo que está *escondido* e não se apresenta facilmente à observação, permitindo dessa forma, a elaboração de variáveis e de parâmetros possíveis de ser relacionáveis entre si, possibilitando o desenvolvimento de representações hipotéticas;

- 2) Permitem um maior número de relações entre as variáveis internas e externas aos referentes empíricos, ajudando ao modelizador a pensar na sua complexidade e a agir sobre ela.

De acordo com estes autores, para a epistemologia contemporânea, “as teorias são geralmente modelizadas e o modelo corresponde apenas a uma construção figurada, abstrata do real”. Elas são construídas, criadas, através de leis e fatos “em uma unidade coerente na maioria das vezes traduzida[s] por um modelo”. Entretanto, entendem que não há um consenso entre “a anterioridade dos fatos em relação à teoria, ou o inverso” (1995, p.34).

Conforme consideram, entender o caráter hipotético, sistemático e aproximativo dos modelos na apreensão da realidade é ter uma ideia sobre o funcionamento da própria ciência. É desse modo que, a didática das ciências, ou mais especificamente o ensino de ciências deveria atuar em atividades de modelização, observando os limites dos modelos em sua tentativa de explicar a realidade, tendo assim a clareza sobre “o que ele permite explicar e o que ele não explica”. (1995, p. 33) Sendo o modelo uma “representação figurada da teoria, o cientista sabe que ele é apenas uma muleta para o pensamento e em caso algum a própria realidade”. (1995, p. 34).

Concari (2001) também compactua, em parte, das concepções dos franceses, Martinand (1994-5) e Astolfi & Develay (1995), entendendo a modelização como uma atividade de construção de modelos que se configura na medida em que são estabelecidas relações de significado (semânticas) entre as teorias e os fenômenos, porém sem implicar numa completa semelhança entre ambos, essas relações são intercambiadas por meio de modelos que por sua vez não passam de representações incompletas e aproximadas do mundo real.

O que parece divergente entre as ideias dos Franceses e da Argentina, Concari (2001), reside na função atribuída aos modelos e às teorias. Enquanto para aqueles os modelos permitem explicar algum aspecto da realidade, para esta os modelos são instrumentos de compreensão e conhecimento e não de explicação, a qual é uma especificidade própria das teorias. Por isso, considera importante entendermos e não confundirmos explicação com previsão e descrição. Enquanto a descrição se liga a alguma forma de definição dos fenômenos, apresentando as suas características e seus elementos constituintes, descrevendo-os de alguma forma, a explicação está relacionada à busca dos porquês dos fenômenos, ao estudo de suas causas e à testagem empírica dos enunciados da teoria. Já a previsão é uma forma de antecipar ou pressupor a ocorrência de um evento que ainda não aconteceu.

Dessa maneira, Concari (2001) considera que os modelos em física não devem ser entendidos como formas de descrever ou explicar uma coisa ou evento, ela vai mais além, os modelos enquanto representações podem ser vistos como “um meio para compreender e conhecer” a realidade (p. 90. Tradução nossa). Uma vez que, descrever e explicar cabe às

teorias e não aos modelos. É pensando nesse contexto que a autora percebe como tem se manifestado o ensino de ciências nas escolas, baseado mais nas descrições do que nas explicações dos fenômenos, e esse papel deveria se inverter: “Nas aulas de ciência os estudantes deveriam ter oportunidades de desenvolver habilidades para proporcionar mais explicações” (p. 91) do que descrições e, da mesma forma, entender melhor a relação que se estabelece entre as teorias e os modelos.

Considerando a construção de modelos uma atividade fundamental na ciência, onde sua principal função reside na capacidade de representar fenômenos, “integrados em teorias e com a capacidade de resolver problemas” (2001, p. 91), a autora defende no ensino de ciências uma utilização de modelos que apresentem uma maior “facilidade e simplicidade” no entendimento das teorias e da realidade; modelos que apresentem “uma maior capacidade de generalização, maior capacidade para resolver problemas de interesse, maior parcimônia e ao mesmo tempo que ofereçam uma maior significatividade potencial para o estudante” (2001, p. 93).

O ponto de vista de Concari (2001) nos é pertinente na medida em que coloca as teorias ou o desenvolvimento conceitual como fundamental para a produção de explicações e descrições da realidade. Uma forma de conhecer e compreender as explicações, as descrições e as previsões feitas sobre os fenômenos ocorre por meio das modelizações e de seus modelos, que por sua vez, permitem uma boa aproximação da realidade, sem na verdade atingi-la completamente.

De igual modo, o ponto de vista dos Franceses também complementa esse entendimento, legando aos modelos a posição de intermediários entre o que se pretende modelizar: o referente empírico e as teorias. Sendo o modelo em alguns casos uma derivação própria da teoria, sua capacidade de representar a realidade é também apenas aproximativa.

Contudo, a divergência que parece haver entre a concepção dos Franceses e da Argentina não é tão acentuada quanto possa parecer. Pois, pode-se notar em seguida, nos argumentos de Martinand (1994-5, p.18. Tradução nossa), uma referência à existência de algumas pesquisas estimuladas pela modelização que estudam a relação entre a “conceitualização e a modelização”, e vem tentando demonstrar que: “Não há modelos sem conceitos”. Assim, é possível aceitar a posição de Astolfi e Develay (1995) em relação à propriedade explicativa atribuída aos modelos. Se não há modelos sem conceitos, como indicam essas pesquisas, e se os conceitos estão bem próximos das teorias, pode-se pensar na possibilidade dos modelos também permitirem, pelo menos em parte, além da compreensão e do conhecimento, também a explicação e a previsão de alguns aspectos da realidade.

Um ponto de vista semelhante também é defendido por Pinheiro, Pietrocola & Alves Filho (2001) que consideram o conhecimento científico como um todo e o conhecimento físico em particular como uma construção teórica estruturada por modelos. É a relação entre teorias e modelos que se faz possível a representação e a interpretação da realidade. Por isso entendem que a compreensão dos papéis ou funções dos modelos é indispensável a toda atividade de ensino de física.

Ao concordarem com Drouin (1988) os autores consideram que os modelos possuem como principal função ou finalidade “compreender, explicar, prever, calcular, manipular, formular” (p. 38) alguns aspectos da realidade ou alguns aspectos dos problemas levantados sobre ela. Sendo as funções de explicação e previsão as duas mais importantes. Conforme consideram: “Explicar é uma função importante no momento de elaboração do pensamento. A explicação pode passar pela analogia ou pela análise das relações entre elementos do sistema que serve de modelo” (p.39). Já prever é “[...] antecipar o desenvolvimento de uma teoria interpretativa que constitui o fenômeno” (id.). Assim, ampliam a função dos modelos em relação aos autores vistos anteriormente.

Pinheiro, Pietrocola & Alves Filho (2001) consideram a modelização uma atividade essencial no âmbito do ensino de ciências já que ela é fruto de “um processo que consiste na elaboração de uma construção mental que pode ser manipulada e que procura compreender um real complexo” (p. 39). Percebem que no centro dessa atividade o uso de “imagens, símbolos, esquemas, gráficos e maquetes” (idem) auxiliam na manipulação e na comunicabilidade do modelo, porém, chamam a atenção para o uso destas formas de representação que em muitos casos podem ser ambíguas.

Uma flecha, por exemplo, pode representar fluxo de calor ou pode representar uma grandeza vetorial. A distinção entre esses significados nem sempre é evidente para os alunos e acaba se tornando uma fonte de dificuldades. Um outro problema está associado ao fato de que uma figuração é composta de aspectos que nem sempre têm significado para o modelo. Um exemplo seria a cor utilizada para representar o átomo nos desenhos que aparecem nos livros didáticos (PINHEIRO, PIETROCOLA & ALVES FILHO, 2001, p. 40).

Embora as figuras, imagens, símbolos e entre outras formas de representação sejam parte importante das atividades de modelização no ensino, elas devem receber um cuidado redobrado por parte do modelizadores que não devem sugerir que elas possam ser interpretadas como uma representação fiel da realidade, tampouco como uma construção sem história nascida na mente de um gênio e fora do mundo real. Os modelos enquanto instrumentos de trabalho dos cientistas, podem também fazer parte do trabalho de professores

e de alunos, pois dizem respeito à representação de fenômenos ou de objetos que facilitam essa representação.

Por fim, os autores mencionados acima comentam que geralmente o que diferencia os modelos utilizados pelos cientistas e os utilizados pelos alunos em atividades de modelização está no seu refinamento conceitual, isto é, enquanto os modelos dos cientistas realizam um maior número de relações possíveis entre os eventos estudados e apresentam um poderio matemático considerável, os modelos dos alunos são considerados mais intuitivos, pouco matematizáveis e de fácil aceitação quando apenas uma das várias relações possíveis entre os eventos estudados é satisfeita.

Temos aqui muitos indícios de que atividades de modelização são bem vindas no ambiente escolar. Mais do que a utilização de modelos, parece pertinente a constituição de uma ideia clara dos seus usos e dos seus limites para a possível compreensão e conhecimento da realidade em estudo, com a identificação a mais clara possível do que eles permitem explicar e o que eles não explicam. Sendo o modelo uma idealização da realidade a qual pode ser alcançada de modo apenas aproximativo, a promoção da modelização no ensino forneceria uma ideia de como os cientistas realizam suas descobertas e invenções, de como relacionam as teorias e as observações, as teorias e as experimentações.

O ponto de vista dos autores até aqui explorados parece vir ao encontro da concepção dos modelos da epistemologia Bungeana (1974). Embora não usem explicitamente a noção de objeto-modelo quando falam de modelo, todos esses autores acima mencionados o colocam como o intermediário entre as teorias e a realidade, entre as teorias e os referentes empíricos, entre as teorias e as observações, além disso, entendem o seu caráter hipotético, idealizado e aproximativo da realidade, sem nunca atingi-la completamente. É essa concepção de modelo que será utilizada no trabalho de modelização que é objeto dessa dissertação, a saber, a modelização de alguns fenômenos naturais com um grupo de 11 alunos do ensino médio. Será assim proposto o uso de “objetos-modelo mecânicos concretos analógicos didáticos” no ensino de astronomia, e esses objetos-modelo aparecerão como uma transposição de objetos-modelo científicos. No próximo subcapítulo tentaremos resgatar algumas ideias de Mario Bunge (1974), já explanadas no primeiro capítulo, e algumas das ideias de seus exegetas que percebem a importância dessa concepção de modelos para o ensino de ciências. Da mesma forma, tentaremos conceituar o sentido dos modelos que estaremos propondo.

2.1 OS MODELOS SEGUNDO A EPISTEMOLOGIA BUNGEANA

Recapitulando o que foi abordado no primeiro capítulo: os modelos, para Mario Bunge (1974), são a verdadeira essência da atividade científica. Sua construção torna-se o primeiro passo para o desenvolvimento conceitual da realidade, que se dá inicialmente por meio de simplificações e idealizações, isto é, através do que ele denomina objeto-modelo. Entretanto, os objetos-modelos são de pouca valia para a ciência se não forem engastados em teorias gerais, de onde adquirem suas teorias específicas ou seus modelos teóricos, que estes sim podem fornecer explicações e previsões da realidade. Vamos analisar novamente esse processo.

Os objetos-modelo são idealizações de alguma coisa ou fato real, ou supostamente real, do qual o cientista pretende investigar. Eles são concebidos por meio da observação, da intuição e da razão e quando submetidos à experiência podem apresentar tanto o seu potencial quanto seus limites, sua intenção é representar alguns aspectos da realidade observada ou imaginada. Entretanto, um objeto-modelo somente pode ser confiável para determinar algo a respeito de uma determinada realidade ou suposta realidade (coisa ou fato) se, e somente se, for construída uma teoria específica ou modelo teórico que especifique o seu comportamento. Assim, “Um objeto-modelo, mesmo engenhoso, servirá para pouca coisa, a menos que seja encaixado em um corpo de idéias no seio do qual se possam estabelecer relações dedutivas” (1974, p.23). Essa afirmação remete-nos à tese principal de Bunge em relação aos objetos-modelo: a verdadeira importância destes para a investigação científica não é tanto a qualidade estética ou psicológica que eles apresentam, mas sim a sua qualidade teórica ou conceitual. Isto é, são as ideias presentes no objeto-modelo (o seu modelo teórico) mais do que sua imagem ou figuração que permitem o conhecimento de alguns aspectos da realidade. Voltaremos a esse assunto em seguida.

Para Bunge (1974) é o modelo teórico inserido no objeto-modelo que permite ao cientista especificar as peculiaridades da coisa ou fato investigado. Dito de outra maneira é o modelo teórico que permite ao objeto-modelo verificar se as ideias iniciais (hipóteses) levantadas sobre a realidade (coisa ou fato) são coerentes ou não passam de um simples engano. É mediante experimentações, observações e medidas, por meio de um processo lógico dedutivo, que o investigador submete à prova o seu modelo-teórico e consegue então verificar quais hipóteses devem permanecer e quais devem ser abandonadas. Assim é que Bunge caracteriza um modelo teórico inserido em seu objeto-modelo como um sistema

hipotético-dedutivo: um conjunto de ideias em interação que permitem com que este realize explicações e previsões sobre a realidade.

Um [...] *modelo teórico* é um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo, que é, por sua vez, uma representação conceitual esquemática de uma coisa ou de uma situação real ou suposta como tal. [...] (1974, p. 16). O que precisa ser entendido a partir desse ponto é: de onde surge um modelo teórico? Há duas formas de chegar a esse entendimento:

De acordo com Bunge (1974, p.35) em alguns casos o “modelo teórico é construído em torno do objeto-modelo. Porém em outros casos, em [...] campos mais avançados, o objeto-modelo pode amiúde ser vinculado a uma teoria geral existente”. Neste caso, são as teorias gerais (ou genéricas) que emprestam ao objeto-modelo sua base conceitual e o permitem se manifestar em relação à coisa ou fato em estudo. As relações entre objetos-modelo, modelo teórico e teoria geral podem assim ser percebidas:

Assim, se quisermos gerar modelos teóricos do átomo de carbono, tentaremos estabelecer modelos simbólicos [objeto-modelo] dele (i.é, operadores hamiltonianos que reúnam propriedades primeiras tais como o número de elétrons e suas interações) e inseri-los na teoria geral [ou Mecânica Quântica] (BUNGE, 1974, p. 35).

A segunda forma de entendimento surge quando não há uma teoria geral que possa ser confrontada com os fatos e possibilitar a manifestação de um único modelo teórico coerente com a realidade.

Assim, na teoria da aprendizagem dificilmente há uma teoria genérica [ou geral]: cada modelo de aprendizagem [objeto-modelo] é uma esquematização de um certo tipo de experimento, e os modelos adequados nos diferentes casos parecem não adaptar-se a uma única teoria compreensiva [a um único modelo teórico] (BUNGE, 1974, p. 35).

Porém, somente o modelo teórico inserido no objeto-modelo poderá inferir sobre o comportamento da coisa ou fato que está sendo modelado ou modelizado.

Para Bunge (1974) as teorias gerais não se manifestam diretamente sobre a realidade, elas possuem um conteúdo amplo e complexo (devido em parte à sua estrutura matemática) e por isso necessitam de simplificações e idealizações que assegurem de algum modo a sua possível veracidade em relação às coisas ou aos fatos a que se referem; elas dependem dos objetos-modelo munidos de seus modelos teóricos. As teorias gerais como a Mecânica Quântica, a Mecânica Celeste, a Mecânica Estatística podem emprestar parte do seu conteúdo

a qualquer objeto-modelo que delas possa construir seu modelo teórico, mas sozinhas nada podem inferir em relação à realidade. A possível compreensão da realidade depende dos objetos-modelo e de seus modelos teóricos, em muitos casos, ancorados por uma ou mais teorias gerais¹⁴.

Poderíamos resumir melhor esse processo para ver como se dá o entendimento conceitual da realidade segundo uma visão realista crítica do conhecimento científico¹⁵.

De um lado temos a realidade, que diz respeito às coisas ou fatos a serem investigados pelo cientista, podendo estes ser reais ou supostamente reais. Isto é, podem ser observados ou percebidos na natureza ou ainda apenas fruto da imaginação. Através da observação, da intuição e da razão o cientista busca uma linguagem adequada ou disponível para representar aquilo que está percebendo ou imaginando, ele então constrói um objeto-modelo.

As relações entre o objeto-modelo e a realidade, num primeiro momento não passam do simples estabelecimento de semelhanças, e estas podem ser inúmeras, sendo o objeto-modelo uma idealização da realidade e uma simplificação da mesma; a representação dependerá da intenção, dos objetivos e dos conhecimentos prévios do cientista. Para Bunge, a construção de objetos-modelo e de seus modelos teóricos está sempre atrelada aos “conhecimentos, preferências e até à paixão intelectual do construtor” (1974, p.22).

De outro lado, temos as Teorias Gerais, que não se aplicam diretamente sobre a realidade, apesar de seu amplo conteúdo e poder de operacionalização “[...] em função de sua estrutura matemática, não se referem a nada especificamente pertencente ao mundo real, embora possam vir a se referir pela adição de suposições adicionais” (PIETROCOLA, 1999, p. 16).

Para que o cientista consiga deduzir algo sobre alguma coisa ou fato real (ou supostamente real) em estudo, ele precisa dotar seu objeto-modelo de um corpo de ideias e

¹⁴ Esta incapacidade das teorias gerais se manifestarem diretamente sobre a realidade é bem observada por Pietrocola (1999, p. 15), que assim considera: “que pelo fato de ser geral se aplica potencialmente a qualquer parte da realidade, mas é impotente por si só na resolução de problemas”.

¹⁵ Realismo Crítico: corrente filosófica que defende a existência de uma realidade objetiva, independente da percepção e da observação que dela temos. Cupani & Pietrocola (2002) em uma análise da epistemologia bungeana dos modelos, desenham muito bem essa visão do conhecimento; eles mostram que, para Bunge, a ciência de alguma forma é construída sobre observações e percepções da realidade, entretanto é ao desenvolvimento teórico, primeiramente, que isso se faz possível. De acordo com os autores, Bunge defenderia ainda um realismo ontológico (que pressupõe a existência do mundo independente de nós) e de um realismo epistemológico (que pressupõe o conhecimento da realidade uma reprodução ou representação teórica da mesma). Resume-se então a defesa de Bunge por um realismo crítico, concebendo o conhecimento científico como algo falível, provisório e incerto. E a existência de uma realidade independente do conhecimento que temos dela, que está aí para ser descoberta e possivelmente representada.

então submetê-lo ao crivo da experimentação. Assim que o objeto-modelo é inserido em uma teoria geral ele “herda as peculiaridades desta e, em particular, as suas leis” (BUNGE, 1974, p.34), em consequência desenvolve seu modelo-teórico, que por sua vez poderá inferir sobre a realidade. Entretanto, Bunge adverte sobre a impossibilidade de todos os modelos teóricos serem colocados à prova quanto à sua veracidade, isto é, ao serem manipulados de modo a dizerem algo de verdadeiro sobre a realidade. Por isso, o autor considera que em todos os casos as “suas conseqüências comprováveis se mostram aproximadamente verdadeiras” (1974, p. 39).

Pode-se então concluir que nem as teorias gerais e nem os objetos-modelo podem, isoladamente, dizer algo sobre a realidade. Somente quando estes se unem isso se faz possível e por meio do modelo-teórico que daí advém:

[...] a comprovação de teorias gerais demanda a produção de teorias específicas [modelos teóricos]; por si mesmas, as teorias extremamente gerais como a teoria da informação, a teoria geral das máquinas, a mecânica clássica e a mecânica quântica são incomprováveis; o que se pode testar é uma teoria geral equipada de um objeto-modelo em suma, um modelo teórico. (BUNGE, 1974, p. 36).

Partindo dessa colocação, adicionalmente, podemos perguntar: e se o modelo-teórico presente no objeto-modelo falhar, isto é, se durante as experimentações e medições, os dados empíricos por ele recolhidos não comprovarem boa parte do que nos diz a teoria geral? Bunge nos responde:

[...] ao comprovar uma teoria específica (modelo teórico) em um campo avançado, nem sempre é claro o que se deve culpar em caso de malogro: a teoria geral, o objeto-modelo, ou ambos – mesmo na hipótese que os próprios dados sejam isentos de culpa. Em qualquer evento, sem modelo, não há prova empírica (BUNGE, 1974, p. 36).

Podemos finalizar, a partir desse ponto, dizendo que os modelos (objetos-modelo e seus modelos teóricos) segundo o ponto de vista de Bunge são extremamente importantes para a ciência factual uma vez que se encontram como intermediários entre as teorias gerais e a realidade. Tudo começa com uma simplificação e idealização da realidade, constrói-se então um objeto-modelo. Depois, este é inserido em uma teoria geral (se existir) da qual ele adquire seu modelo-teórico. Como um sistema hipotético-dedutivo, “uma máquina de gerar proposições a partir das proposições iniciais” (PIETROCOLA, 1999, p. 17), o modelo-teórico, finalmente, poderá inferir sobre a realidade. É através do modelo-teórico inserido no

objeto-modelo que se faz possível a “ponte” entre a teoria geral e a coisa ou fato em estudo. É a partir dele que se podem gerar as explicações conceituais da realidade.

O que passamos a discutir agora é o sentido que Bunge atribui aos objetos-modelo na ciência factual: objetos-modelo do tipo conceitual ou o que designamos como objetos-modelo científicos. Retomemos uma passagem que apresentamos no primeiro capítulo, a partir dela começaremos por delinear a noção de objeto modelo mecânico concreto analógico didático que propomos neste trabalho.

[...] as teorias específicas ou modelos teóricos encerram objetos-modelo do tipo conceitual mais do que representações visuais ou figurativas. Sem dúvida, é possível sempre descrever o modelo com o auxílio de um diagrama e mesmo, às vezes, com a ajuda de um modelo material – tais como os modelos esféricos de moléculas: este auxilia a compreender as idéias difíceis e algumas vezes a inventá-las. Não obstante, nem diagramas nem análogos materiais podem representar o objeto de uma maneira tão precisa e completa como o faz um conjunto de enunciados (BUNGE, 1974, p. 25-6).

Percebe-se nesta citação que os objetos-modelo do tipo conceitual ou científico do qual fala Bunge, são aqueles que não necessitam de uma representação figurativa ou visual para existirem, a sua capacidade está em sua propriedade conceitual ou teórica mais do que em sua capacidade estética ou psicológica. Em seguida ele reforça esse pensamento:

A força de um objeto-modelo do tipo conceitual não é de natureza psicológica (heurística ou pedagógica): ela reside no fato de ser uma idéia teórica e, por conseguinte, uma idéia que se pode enxertar em uma máquina teórica a fim de pô-la a funcionar e produzir idéias interessantes (BUNGE, 1974, p.26).

A preocupação de Mário Bunge com o uso dos objetos-modelo do tipo figurativo, material ou concreto na ciência factual reside no fato de que nem sempre se pode representar a realidade através de coisas visíveis ou por meio de objetos familiares¹⁶. Consequentemente, os objetos-modelo desse tipo nem sempre podem ser inseridos em teorias, já que as teorias, em seu entendimento, concebidas como “sistemas de proposições” (idem, p. 27) são compostas de ideias e não de imagens.

Esta posição de Bunge denota a defesa de um realismo crítico e não ingênuo da realidade. Pressupõe, dessa forma, que a realidade “não é sempre, nem simplesmente tal, como parece aos nossos sentidos. O conhecimento perceptivo é deficiente ‘e deve ser

¹⁶ Como exemplifica na seguinte passagem: “É útil traçar diagramas figurativos quando se trata de neurologia, pois temos que lidar com coisas visíveis, mas quando se trata de teoria da aprendizagem ou da utilidade não é possível desenhar tais diagramas, porque os processos com os quais lidamos não são perceptíveis, se bem que sejam inteligíveis” (id. p. 27).

enriquecido pelo conhecimento conceptual, particularmente o teórico' (CUPANI & PIETROCOLA, 2002, p.4). Nesse sentido, os objetos-modelo do tipo conceitual são os que realmente importam na atividade científica.

Entretanto, apesar de não ver com bons olhos o uso de imagens, de figurações na ciência, uma vez que elas podem em alguns casos nos confundir e não nos deixar entender o que está para além do observável ou do perceptível, ele não as ignora completamente, e percebe que em certos casos, tais formas de representação da realidade, por terem uma força de natureza psicológica mais do que lógica, quando em uso, possibilitam ao cientista a compreensão e o conhecimento de alguns aspectos da realidade. Esta suposição fora muito bem observada por Cupani & Pietrocola (2002, p. 17-18):

Muitas abordagens sobre a forma como as explicações são produzidas acabam por enfatizar aspectos meramente lógicos, como afirma Bunge. Assim, a introdução dos aspectos epistemológicos, ontológico, pragmático, semântico e psicológico amplia a discussão sobre a forma como modelos teóricos podem explicar (Grifo nosso).

É a essa possibilidade de gerar explicações psicológicas da realidade, através dos modelos teóricos presente nos objetos-modelo do tipo figurativo, material ou concreto, que os autores identificam como algo de muita valia para o ensino de ciências e que poderiam assim estar no centro de atividades de modelização entre professores e alunos. Conforme cometam:

Para o ensino esta ampliação de aspectos é tanto mais importante, quando se tem em mente que, em particular, o aspecto psicológico das explicações é fundamental para os indivíduos em geral. Pois parece que ao produzirem modelos explicativos, os indivíduos buscam a compreensão daquilo que os cerca. (CUPANI & PIETROCOLA, 2002, p.18)

E logo a seguir os autores consideram ainda:

Cumprir notar que alguns modelos seriam mais facilmente transpostos para o contexto do ensino do que outros, em função de sua natureza. Os modelos ditos figurativos, isto é que de alguma forma se reduzem aos objetos familiares ou deles se aproximam (como as imagens de corpúsculos em movimento, por exemplo), acabam por se constituir em versões mais fáceis de serem pensadas pelos não iniciados. Para a ciência, tal característica se constitui num luxo que não deve ser perseguido. Mas em se tratando do contexto educacional, tais modelos parecem mais facilmente ensináveis (e supostamente aprendíveis) (idem).

No sentido acima exposto é que estamos propondo o uso de modelos, objetos-modelo e seus modelos teóricos no ensino de alguns saberes astronômicos. Será explorando e promovendo a capacidade psicológica de gerar explicações conceituais da realidade que os

objetos-modelo do tipo conceitual (objetos-modelo científicos) são transpostos didaticamente para o ensino e tornam-se objetos-modelo do tipo concreto (objetos-modelo didáticos). Passaremos a delimitar com mais cuidado essas ideias.

2.1.1 Do objeto-modelo científico ao objeto-modelo mecânico concreto analógico didático ou da esfera celeste ao modelo do MAS.

De acordo com Galagovsky & Aduriz-Bravo (2001) os modelos científicos são o ponto de partida para a construção dos modelos didáticos. Devido ao seu alto grau de abstração e formalização, com seu apanhado de hipóteses e generalizações que tentam dar conta de um determinado domínio da realidade, os modelos científicos utilizados na escola são geralmente problemáticos por apresentarem uma linguagem pouco comum aos estudantes, distanciando-se em muito da linguagem e dos conhecimentos prévios que estes possuem. Dessa maneira, consideram que ensinar ciências naturais na escola para um grupo de estudantes requer uma reformulação dos modelos científicos para uma forma didática, de tal modo que estes não percam totalmente o seu caráter previsional e explicativo, virando uma mera simplificação (p. 234). Esta transformação pela qual deve passar um determinado objeto do saber científico antes de se tornar um objeto do saber escolar foi denominada por Yves Chevallard de transposição didática¹⁷.

Neste momento, nossa preocupação será delinear esse caminho da transposição didática de um objeto-modelo científico para um objeto-modelo mecânico concreto analógico didático (OMMCAD), o modelo do MAS, proposto ao grupo de estudantes, este último entendido como uma re-representação do primeiro. Pensamos assim propiciar ao leitor uma visão genérica dos OMMCAD que estaremos empregando nas atividades de modelização bem como dar uma ideia da preparação didática pela qual os objetos do saber científico são transformados em objetos do saber escolar, tal como postula a teoria da transposição didática.

Da esfera celeste ao modelo do MAS

¹⁷ Cf. o didata da matemática, Yves Chevallard (2005), existem três instâncias pela qual um determinado saber percorre antes de se transformar em um objeto de ensino. O francês denominou-as “saber sábio” que é o saber desenvolvido e dominado pelos cientistas, pesquisadores ou especialistas (grupo dos acadêmicos), “saber a ensinar”, que é o saber transposto do saber sábio para os livros didáticos, programas de ensino e demais materiais destinados ao ensino, e o “saber ensinado” que é o saber geralmente provindo do saber a ensinar o qual o professor utiliza para o preparo de suas aulas. Iremos discutir melhor esse contexto no próximo subcapítulo.

Se recorrermos a alguns livros científicos de astronomia não é difícil de encontrarmos algumas imagens de superfície esférica com uma círculo máximo central e uma reta central perpendicular, interseccionando-a ao centro e em dois outros pontos opostos extremos. Em dicionários de cartografia tem-se a seguinte definição: “Esfera imaginária de raio infinito, descrita em torno de um centro imaginário, e sobre o qual supostas posições de astros se projetam ao longo dos raios, passando pelos corpos celestes...” (OLIVEIRA, 1993, p. 101). Estamos falando de uma das mais antigas representações já produzidas pelo homem, diga-se de passagem, pelos antigos povos gregos, a esfera celeste.

A esfera celeste, antes de se tornar uma representação pictórica ou objeto-modelo do tipo figurativo, pode ser vista como um objeto-modelo do tipo conceitual. É bem verdade que até meados do século XVII tenha sobrevivido à imaginação de alguns estudiosos dos céus como uma grande bolha de superfície cristalina e suspensa no ar onde estrelas fixas estariam incrustadas. Mas foi a partir desse período que ficou evidente a inexistência de uma esfera física (no sentido de palpável), pela qual estamos envolvidos e que precisamos romper para atingir novas dimensões no universo¹⁸.

A esfera celeste é um conceito, já há muito tempo utilizado em navegação e astronomia de posição para o estudo da localização dos astros no céu. É um exemplo típico do que Bunge denomina objeto-modelo do tipo conceitual ou o que denominamos objeto-modelo científico. Um astrônomo ou pesquisador em astronomia sabe de antemão que a esfera celeste é uma abstração, uma ideia, um conceito, e quando ouve falar seu nome provavelmente já tenha uma representação mental para ela, sem mesmo precisar ver o seu desenho. Entretanto, para poder estabelecer relações e até mesmo ensinar a outros as ideias que estão a ela atreladas, logo necessita de uma representação pictórica (desenho) para apresentá-la, tal como é feito em livros de astronomia, enciclopédias, dicionários cartográficos, sítios da internet, e outras formas. Uma representação gráfica tradicional é apresentada a seguir.

¹⁸ Existe todo um contexto dentro da história da ciência a respeito da esfera celeste que mereceria todo um trabalho de resgate, das ideias astrológicas, filosóficas, astronômicas, matemáticas aí envolvidas. Infelizmente, neste momento, não temos como nos dedicar a esse trabalho. Alguns comentários podem ser encontrados em: http://nautilus.fis.uc.pt/astro/hu/viag/outras_estrelas.html

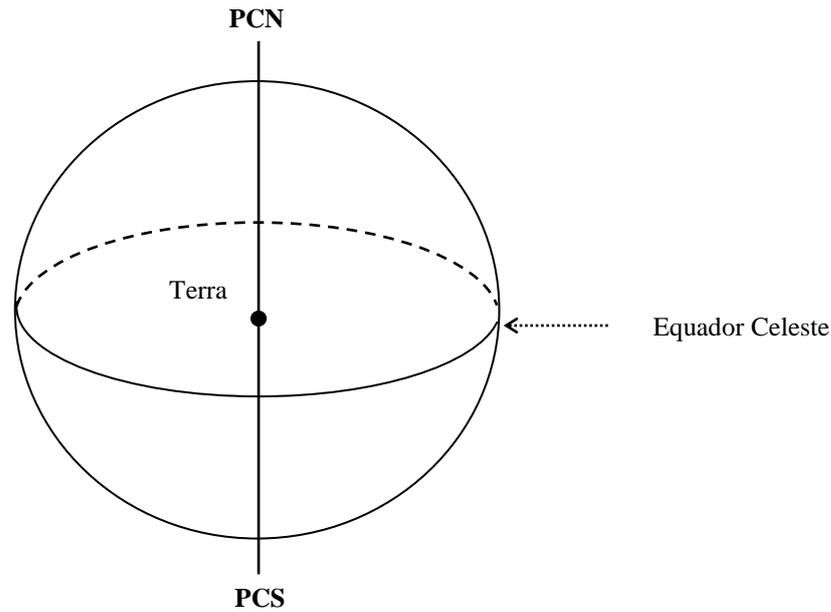


Figura 1- Objeto-modelo científico: representação da esfera celeste.

Esta representação é uma idealização da realidade. Ao centro da superfície esférica, representando a esfera celeste, temos um ponto representando o planeta Terra, com seu eixo imaginário de rotação atingindo a esfera celeste em dois outros pontos opostos extremos: polo celeste norte (PCN) e polo celeste sul (PCS). Ainda ao centro, representado por um círculo máximo, temos a projeção da linha do equador terrestre na esfera celeste, o equador celeste. Nota-se aqui que, para cada referente empírico: Terra, céu; atribuiu-se, respectivamente, uma representação: ponto central, esfera celeste. Assim, conforme nos trás Bunge (1974) a relação entre a realidade e o objeto-modelo se dá inicialmente através semelhanças conceituais. No caso da esfera celeste, para cada referente empírico atribuiu-se uma representação geométrica.

Atualmente, para estudar a posição e o movimento de uma determinada estrela no céu, a partir de um ponto de vista geocêntrico - isto é, aquele ao qual se admite a Terra colocada ao centro da esfera celeste (mas não do sistema solar) com um suposto observador localizado em um determinado ponto de sua superfície - os astrônomos utilizam diferentes sistemas de coordenadas e suas respectivas relações matemáticas que o permitem de forma muito aproximada realizar algumas explicações e previsões do comportamento dos astros. O objeto-modelo científico ou do tipo conceitual da figura 1, composto agora de um sistema de coordenadas horizontais, dá lugar a um novo objeto-modelo conceitual (figura 2).

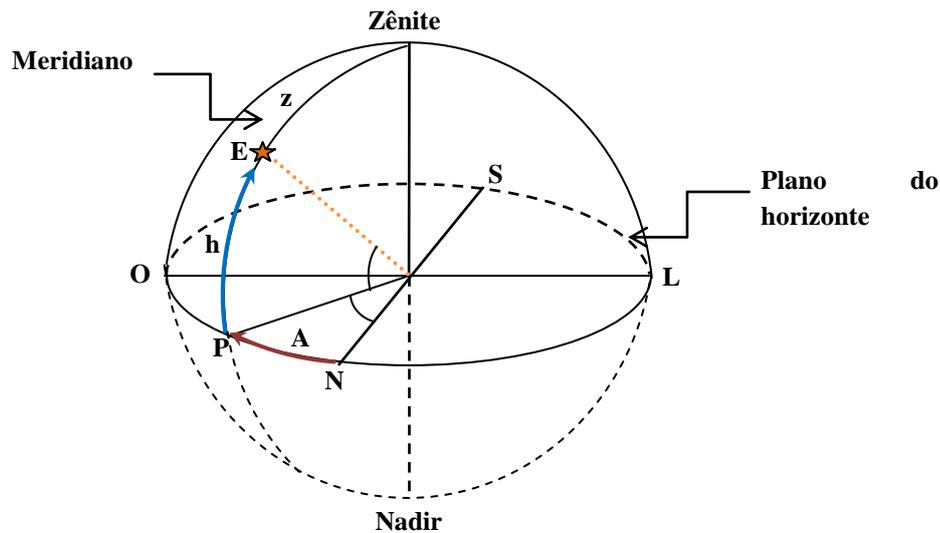


Figura 2 – Objeto-modelo científico: representação do Sistema de Coordenadas Horizontais.

Nesta representação temos alguns conceitos semelhantes ao da figura 1. Por exemplo, a Terra ao centro é representada por um ponto e a esfera celeste é representada pela superfície esférica; porém agora, outros conceitos são adicionados. Por exemplo, ao centro da esfera temos o plano do horizonte de um observador hipotético localizado no centro da esfera celeste (sobre a superfície do planeta Terra); no plano do horizonte temos ainda a direção dos quatro pontos cardeais (L, O, N, S); a reta perpendicular que cruza o ponto situado no centro do disco que representa o plano do horizonte indica a direção ou o ponto diretamente acima (zênite) e abaixo (nadir) da cabeça do observador; temos também (h) = altura: indicando o afastamento angular do astro em relação ao horizonte do observador; (z) = distância zenital: indicando o afastamento angular de um astro em relação ao zênite do observador; (A) = Azimute, indicando o afastamento angular do semi-círculo vertical do astro (arco NP) em relação ao meridiano do observador. Apresentamos aqui, a título ilustrativo, alguns conceitos importantes; outros foram omitidos¹⁹.

A figura 2 representa então o mesmo objeto-modelo da figura 1, porém de uma perspectiva diferente. Ficam agora mais explícitos alguns elementos da figura anterior, da forma como seriam vistos a partir de um ponto de vista de um observador na superfície da Terra, e alguns elementos da teoria matemática envolvida (geometria e trigonometria). A

¹⁹ Para mais informações sobre os conceitos envolvidos neste modelo visite a página que segue, foi a partir dela que nos baseamos para representar o sistema de coordenadas horizontais. <http://www.uranometrianova.pro.br/astrologia/AA003/horizontal.htm>

partir desse objeto-modelo conceitual seria possível derivar, por exemplo, certas previsões a respeito da posição dos astros no transcorrer do tempo.

Porém, em algumas enciclopédias de astronomia e mais particularmente em livros didáticos de geografia pode-se observar um novo objeto-modelo nascendo a partir desse último, que tem por objetivo representar o movimento anual aparente do Sol. Trata-se aqui de um caso típico de transposição do saber sábio ao saber a ensinar ou, dito de outra forma, da transposição de elementos do saber científico (astronômico) aos livros didáticos e em outros materiais de ensino. Fica assim patente uma nova reelaboração, reformulação ou recontextualização do saber desenvolvido pelo cientista a fim de se transformar em saber possível de ser ensinado (PAIS, 1999). É o que Chevallard (2005) denominou de “transposição externa”. O objeto-modelo conceitual (figura 2) perde alguns de seus elementos e adquire outros mais intuitivos (mas mesmo assim ainda bastante abstratos), mais próximos da linguagem dos estudantes, dando origem a um novo tipo de modelo, o objeto-modelo didático (figura 3).

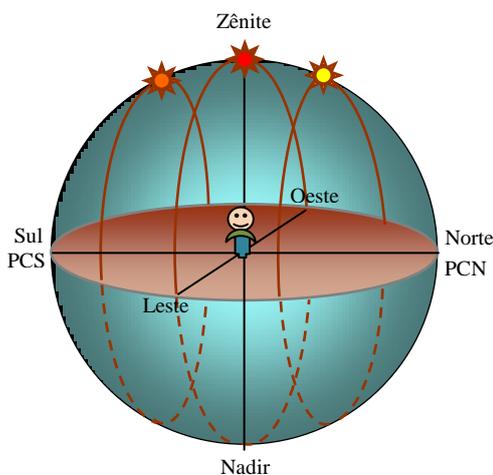


Figura 3-a

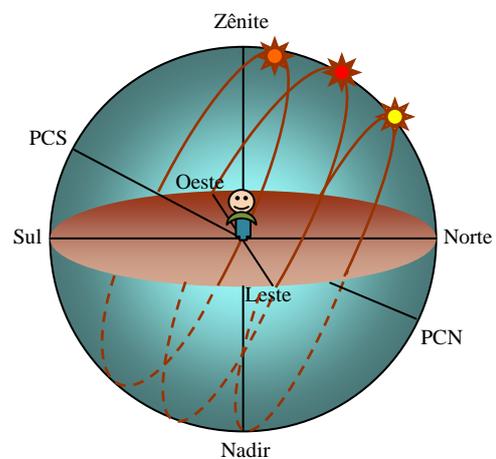


Figura 3-b

Figura 3-a, b - Objeto-modelo didático: representação do movimento anual aparente do Sol. Na figura 3-a temos a representação da órbita do Sol anual aparente na esfera celeste para uma latitude de 0° (Macapá – AP) nas quatro estações do ano. Na figura 3-b temos a representação da órbita do Sol anual aparente na esfera celeste para uma latitude de $\approx 30^\circ$ (Caxias do Sul – RS) nas quatro estações do ano. Representação fora de escala.

LEGENDA:

- ★ *Sol ao meio-dia nos equinócios de outono e primavera no Hemisfério Sul, em ≈ 21 de março e ≈ 23 de setembro, respectivamente.*
- ★ *Sol ao meio-dia no Solstício de verão para o Hemisfério Sul (≈ 22 de dezembro).*
- ★ *Sol ao meio-dia no Solstício de Inverno para o Hemisfério Sul (≈ 21 de junho).*

Podemos perceber algumas semelhanças conceituais entre a figura 1, a figura 2 e as figuras 3-a e 3-b: pode-se dizer que esta última é uma re-representação das primeiras, já que nessa adicionam-se novos elementos (mais intuitivos), como por exemplo, o desenho dos sóis (fora de escala) na esfera celeste; o desenho do observador hipotético (também fora de escala); as relações de medida e os ângulos que apareciam no modelo da figura 2 são agora retirados; adicionam-se mais cores à representação. Esses desenhos têm apenas como finalidade diminuir o número de variáveis e o grau de abstração dos referentes empíricos. Por exemplo, os sóis poderiam simplesmente ser representados por pontos geométricos; o observador ao centro não precisaria ser representado, ele aparece apenas para fornecer a ideia de que há alguém centrado na Terra observando os astros no céu. Didaticamente a representação dos sóis em diferentes cores serve apenas como apoio à legenda; as pequenas chamas que saem deles são bastante usuais e de senso comum, apesar de estarem tão enraizadas em nossa cultura, demonstrando uma maneira intuitiva de perceber o formato do Sol, muitas vezes ganham reforço em fontes, símbolos e desenhos dos processadores de texto. Por isso, é preciso ter cuidado com elas pois podem deturpar o sentido dos conceitos que estão por trás das figurações.

Assim, as características desse novo objeto-modelo podem ser consideradas mais psicológicas do que lógicas, pois sendo representadas em uma linguagem mais comum, familiar, acessível à maioria dos alunos iniciantes, procuram fornecer uma melhor compreensão dos conceitos ou ideias que seriam difíceis de ser acessadas diretamente, como seriam, por exemplo, se fossem trabalhadas imediatamente por um sistema de equações²⁰. Este objeto-modelo didático denota o que Aduriz-Bravo & Morales (2002) chamam de representações de ordem superior ou modelos de modelos:

Os modelos didáticos são representações de ordem superior (modelos de modelos), obtidos por *transposição* a partir dos modelos científicos. Alguns mantêm os conteúdos, outros somente as formas (a arquitetura lógica) e alguns resultam da percepção dos componentes abstratos dos modelos científicos (ADURIZ-BRAVO & MORALES, 2002, p. 77. Tradução nossa.).

Podemos entender então os modelos didáticos como representações dos modelos científicos. Sua elaboração envolve, de acordo com os autores, uma série de transformações

²⁰ No primeiro capítulo discutimos rapidamente sobre o conteúdo lógico e psicológico de uma teoria na visão de Simon & Newell (1956). Vimos que o conteúdo lógico diz respeito a todas as afirmativas, explícitas ou implícitas, que uma teoria pode fazer da realidade; já o conteúdo psicológico diz respeito à forma que podemos ter acesso a essas afirmações. Assim, o objeto-modelo didático da figura 3, intenta, por meio de figuras ou desenhos, ou seja, através de um conteúdo psicológico, permitir aos iniciantes o acesso a uma parte da teoria de certa forma escondida, a uma parte do conteúdo lógico.

ou transposições que afetam a forma com que os modelos científicos são estruturados, os quais passam por uma reelaboração ao nível do “plano lógico (das formas)” como também da relação entre os conceitos e os conteúdos, isto é, por uma reelaboração ao nível do “plano semântico” (2002, p. 79) Nesse sentido, trabalhar na transposição didática, ou melhor, na reelaboração de uma modelo científico para um modelo didático envolve, conforme Aduriz-Bravo e Morales, alguns critérios, tais como (idem.):

- 1) *Diminuir o grau de abstração;*
- 2) *Reduzir o número de variáveis;*
- 3) *Substituir o modelo atualizado por modelos aproximativos vigentes em outros momentos históricos;*
- 4) *Construir analogias que conectem o modelo a situações que sejam familiares aos alunos;*
- 5) *Utilizar metáforas que o expliquem.*

Estas características dos modelos didáticos são de grande importância no contexto do ensino; no que tange especificamente ao processo da transposição didática permitem ao professor repensar a forma que dará aos seus modelos didáticos, bem como o tipo de linguagem que será a eles associada durante as atividades de modelização. Um aspecto importante a ser levado em consideração é que, apesar de possuírem pontos em comum com seus referentes científicos, os modelos didáticos enquanto modelos de modelos científicos também apresentam limitações.

Voltando ao objeto-modelo didático da figura 3, propomos um segundo objeto-modelo didático (figura 4), que também possui semelhanças com o objeto-modelo conceitual das figuras 1 e 2, porém apresentando uma relação analógica mais potente; é o modelo geocêntrico do movimento aparente do Sol: o modelo do MAS, ou o que vamos definir agora como “objeto-modelo mecânico concreto analógico didático” (que chamaremos abreviadamente ao longo da dissertação de “objeto-modelo didático”), ou “modelo do MAS” (movimento aparente do sol) quando se tratar especificamente do modelo em foco neste trabalho.

Este modelo é definido como “objeto-modelo mecânico” no sentido em que está inserido na mecânica clássica (teoria geral) de onde retira ou desenvolve seu modelo teórico

(teoria gravitacional newtoniana); ele obedece então às leis da mecânica newtoniana. Porém, conforme Bunge (1974, p. 37), convém lembrar que nem todos os objetos-modelo são necessariamente mecanicistas, eles também podem ser probabilísticos ou determinísticos.

Utilizaremos a expressão “objeto-modelo do tipo material” ou “concreto” no sentido a ela atribuído por Galagovsky & Aduriz-Bravo (2001) quando definem os modelos ou “representações concretas” como um tipo de representações didáticas bastante utilizado no ensino de ciências. As representações concretas seriam “representações visuais de certas imagens associadas a algum modelo científico em particular” (p. 236), representações estas consideradas também científicas por estarem atreladas a conceitos científicos, mas diferentes daquelas (consideradas mais abstratas e complexas), pois possuem o papel de “simplificadores de conceitos mais complexos” (idem). Geralmente se apresentam em forma de “desenhos, projeções bidimensionais ou objetos tridimensionais como por exemplo: modelos moleculares feitos com palitos e bolinhas, maquetes do sistema solar, etc.” (idem). Conforme o ponto de vista dos autores, os cientistas interpretam essas representações como facilitadoras para o entendimento dos conceitos científicos, entendendo as suas possíveis aplicações e limites. Porém, a “natureza mediática e metafórica” (idem) dessas representações geralmente não é entendida pelos alunos como simplificações e aproximações dos conceitos científicos. Isto deve ser considerado em atividades de modelização.

A expressão “análogo didático” é aqui tomada em dois sentidos, “análogo” se refere às semelhanças estruturais e conceituais que o objeto-modelo didático possui com relação ao seu objeto-modelo científico (figura 1 e 2), mas mais particularmente com o objeto-modelo da figura 3. Nesse sentido, ele se aproxima do que Galagovsky & Aduriz-Bravo (2001, p. 236) denominam “análogo concreto”²¹. Dito de outra maneira, o modelo do MAS é um análogo concreto do objeto-modelo da figura 3, conforme veremos em seguida. O segundo sentido para “análogo didático” se refere à forma como se trabalha com ele em atividades de modelização. Este segundo sentido guarda certa semelhança com o sentido atribuído aos “modelos didáticos analógicos” de Galagovsky & Aduriz-Bravo (2001, p. 237),

²¹ Segundo os autores, análogos concretos seriam *dispositivos didáticos* utilizados pelos professores para o ensino de conceitos mais abstratos (*apud* Glynn, 1990) a fim de relacioná-los com o aparato cognitivo apresentado pelos alunos. Característico das práticas construtivistas, os análogos concretos são utilizados levando em consideração o cotidiano dos alunos e algumas vezes as suas concepções prévias, embora nem sempre. Estes dispositivos são utilizados a fim de fazer com que os alunos façam relações com o que já conhecem e desconhecem, com aquilo que lhes é mais familiar e não familiar (*apud* Pittman, 1999). Um exemplo de análogo concreto seria “o uso de um sistema hidráulico para representar um circuito elétrico simples com elementos em paralelo e em série”. Para os autores, os análogos concretos, por se utilizarem de analogias, seriam importantes dispositivos facilitadores da transposição dos saberes científicos para os saberes escolares ou conteúdos escolares (GALAGOVKY & ADÚRIZ-BRAVO, 2001, p. 236).

divergindo porém na forma em que são estabelecidas suas três diferentes etapas, como será detalhado em seguida.

Para os autores, os modelos didáticos analógicos (MDAs) marcam um avanço dos recursos didáticos análogos concretos, pois, permitiriam aos alunos utilizar-se de seus próprios meios lingüísticos, da linguagem cotidiana ou comum, para realizarem suas explicações sobre a realidade, sem ignorarem é claro, a linguagem científica. Assim como as representações concretas e os análogos concretos, os MDAs também são dispositivos didáticos próprios da ciência escolar. Seu desenvolvimento exigiria do professor um conhecimento profundo do tema a ser trabalhado, dos conceitos principais e de suas relações, traduzindo-os todos numa situação a “mais inteligível possível para os alunos, originária da vida cotidiana, de ficção científica ou do sentido comum” (idem). Um MDA se parece em muito com um análogo concreto, mas a sua principal diferença reside na forma pela qual se trabalha com os alunos em atividades de modelização, estabelecida em três diferentes momentos:

- 1) em primeiro lugar, o MDA aborda-se geralmente antes que o tema específico – seu referencial científico – tenha sido tratado. Os alunos, compreendendo essa situação analógica inicial, podem formular hipóteses sobre *o que, como e quando* ocorrem diferentes fenômenos em analogia, que logo poderão relacionar se com os conteúdos, procedimentos e linguagem da ciência erudita. (GALAGOVKY & ADURIZ-BRAVO, 2001. p. 237. Tradução nossa).

Nesta primeira etapa, colocada pelos autores, seguimos um caminho oposto, isto é, partimos do referencial científico (figura 1) e fomos em busca de um conjunto de modelos didáticos (dos quais veremos mais detalhes no último capítulo), com o objetivo de permitir aos alunos o estabelecimento de relações de semelhança entre o objeto-modelo científico e seus análogos concretos (objetos-modelo didáticos). Entramos diretamente na segunda etapa para depois trabalhar com esta, ou seja, partimos de uma linguagem mais abstrata (a linguagem científica) para uma linguagem mais coloquial, cotidiana ou comum, própria da maioria dos alunos, sem desconsiderar, é claro, a linguagem científica envolvida.

- 2) Após a primeira etapa, trabalhar-se-ia com os argumentos ou informações da ciência erudita (foi o que fizemos na primeira etapa, ou seja, de onde partimos). “Esta informação pode ter um formato de um texto ou de uma exposição do professor, está descrita na linguagem mais apropriada da ciência erudita, adaptada para esse dado nível de escolaridade” (2001, p. 236). Essa segunda etapa vem como uma forma de permitir uma relação entre a ciência escolar, que num primeiro momento leva em consideração a linguagem do aluno e seu cotidiano, e a ciência erudita, que leva em consideração a linguagem dos

cientistas. *“O trabalho com os alunos consiste, então, na elaboração de novas hipóteses que relacionem o MDA e o modelo científico através de suas semelhanças e diferenças”*. (idem, p. 237. Itálico dos autores) Um novo registro seria feito para identificar as relações estabelecidas pelos alunos, é o momento da terceira etapa.

3) Nessa última etapa, entraria em foco o processo da metacognição. Uma forma de atividade mental que de acordo com Jiron Matui (1995) reside no processo do “[...] discurso interior ou ‘pensar as palavras’” (p. 107-8). Trata-se de uma busca pelo significado do que se está estudando, através das ações, das relações entre o pensamento e a linguagem, buscando assim conceituar as palavras. De acordo com Galagovsky & Aduriz-Bravo (2001), nessa última etapa do MDA os alunos seriam convidados a realizar uma análise das suas próprias analogias, voltadas ao modelo científico vigente. Essa é sem dúvida a mais difícil das etapas, pois, através das relações analógicas realizadas, das simplificações e demais operações, os alunos terão que decidir entre o que deve ser abandonado e o que deve ser mantido em termos de conhecimento.

Esta etapa é contemplada por nós durante a parte final do trabalho de modelização, na qual o modelo do MAS é confeccionado e ocorre um debate (pesquisador e alunos, alunos entre si) sobre a pertinência de algumas previsões feitas com o modelo do MAS e suas relações de semelhança com os modelos trabalhados até então. Do mesmo modo, após esse momento, tentamos aprofundar esse processo de metacognição através de entrevistas semi-estruturadas, às quais os alunos foram submetidos ao final da pesquisa.

Chegamos enfim, ao sentido que pretendemos atribuir aos “objetos-modelo mecânicos concretos analógicos didáticos” propostos na atividade de modelização. Tentaremos a seguir apresentar algumas características do modelo do MAS (um dos objetos-modelo didáticos empregados), relacionando-o com o modelo da figura 3.



Figura 4-a



Figura 4-b

Figura 4-a, b – Objeto-modelo didático: fotografia do modelo geocêntrico do movimento aparente do Sol (modelo do MAS). Na figura 4-a temos a representação da órbita do Sol anual aparente na esfera celeste para uma latitude de 0° (Macapá – AP) nas quatro estações do ano. Na figura 4-b temos a representação da órbita do Sol anual aparente na esfera celeste para uma latitude de $\approx 30^\circ$ (Caxias do Sul – RS) nas quatro estações do ano.

O modelo do MAS pode ser visualizado em seus detalhes nas fotos das figuras acima; para a sua construção utilizamos dois CDs; um deles forma a base e o outro “materializa” o plano do horizonte do observador. Os CDs são sustentados por um suporte de madeira; uma lâmina de transparência representa a esfera celeste na qual os círculos representam a região da esfera celeste onde o Sol realiza seu movimento anual aparente, tudo em relação a um observador localizado em qualquer uma das diferentes regiões do planeta Terra. A passagem do Sol abaixo e acima do plano do horizonte, indicando o período em que a Terra não recebe luz solar (noite) e o período em que recebe luz solar (dia claro), é mensurada por um escala horária dividida em 24 partes (24 horas). A seta serve como parâmetro para a regulação das latitudes.

Com o modelo do MAS é possível prevermos, de modo aproximado, o intervalo de tempo em que o Sol permanece acima do horizonte (período de luz solar) em qualquer época do ano e em qualquer região do planeta; bem como abaixo dele (período sem luz solar); também é possível identificarmos as diferentes posições do nascimento do Sol, em relação ao plano do horizonte, ao longo do ano – mostrando assim os dois únicos dias do ano em que o Sol tem seu nascimento exatamente no ponto cardinal leste e ocaso no ponto cardinal oeste (os chamados equinócios de primavera e outono), além da posição do Sol nos Solstícios. Muitas outras relações podem ser materializadas; o modelo do MAS não se restringe à possibilidade de efetuar previsões, ele pode constituir-se num excelente recurso para o estudo, em especial pelo fato de ser “regido” por importantes conceitos matemáticos e físico-astronômicos.

Se voltarmos à figura 3-a e 3-b, logo, poderemos notar algumas relações de semelhança entre elas e o modelo do MAS aqui ilustrado em detalhes nas figuras 4-a e 4-b. O plano do horizonte do observador, a esfera celeste com seus círculos indicadores do

movimento anual aparente do Sol (em 3-a e 3-b) passam a ser representados (em 4-a e 4-b), respectivamente, por um CD e uma lâmina de transparência com círculos nela impressos. Em 4-a também temos a representação do movimento aparente do Sol para a região de Macapá (regulado para uma latitude de 0°) e em 4-b para a região de Caxias do Sul (regulado agora para uma latitude de $\approx 30^\circ$), como se pode perceber na figura 3-a e 3-b, respectivamente. O modelo do MAS passa a ser então um “análogo concreto” da figura 3- a, b. Ele se vale em sua construção, tanto de relações analógicas estruturais ou substanciais, quanto de relações analógicas formais ou funcionais, isto é, existe uma relação de semelhança ao nível da estrutura, das formas, quanto uma relação de semelhança ao nível do funcional, das funções, com o objeto-modelo da figura 3 – a, b²². A relação de semelhança estrutural não é perfeita, pois, a faixa de transparência em primeiro lugar é cilíndrica e não esférica, em segundo lugar, representa apenas a região da esfera celeste em que o Sol aparentemente se movimenta e não toda a região do “céu”. Mas não há nenhum problema do ponto de vista da analogia funcional, já que tanto a faixa de transparência quanto a representação esférica, ambas representando a esfera celeste (isto é, representando uma ideia e não uma coisa real) apresentam a direção do céu em que o Sol aparentemente se movimenta em relação a um observador hipotético. Dito de outra forma, ambos os modelos possuem a mesma função, representar o movimento anual aparente do Sol a partir de um ponto de vista geocêntrico²³.

Apesar do que foi notado acima, pode-se dizer que o modelo do MAS é mais significativo que o modelo representado pela figura tridimensional (figura 3 - a,b), e tem um poder de operacionalização muito maior. De um lado, o modelo do MAS, enquanto análogo concreto daquela, “materializa” alguns conceitos abstratos, permitindo aos seus modelizadores, por exemplo, alterar a posição da “faixa” do movimento anual aparente do Sol para qualquer região do planeta, realizando assim algumas previsões, o que é impossível com a figura 3 - a,b, a não ser que seja lançada mão de novos modelos. De outro lado, ele possibilita um ganho na perspectiva geométrica, pois propicia a passagem de um modelo

²² No primeiro capítulo (p.28-9), já havíamos discutido, de forma breve, sobre o uso das analogias em física. No anexo E é possível encontrar ainda um texto sobre as analogias substanciais (ou estruturais) e formais (ou funcionais) segundo a visão de Mario Bunge.

²³ Mais detalhes sobre a construção do modelo do MAS pode ser encontrado no artigo: “Um modelo para o movimento anual do sol a partir de uma perspectiva geocêntrica” publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 27, n.1, p. 15, abr. 2010. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/1376>

anteriormente estático (ao nível do papel) para um modelo agora semi-dinâmico (ao nível do perceptível, do manipulável e do modificável).

Esse objeto-modelo didático concretiza assim uma segunda transposição, intentando a passagem do “saber a ensinar” para “saber ensinado”. É empregada aqui a terminologia de Chevallard (2005), a qual designa um processo de “transposição interna”. Essa transposição didática interna, de acordo com o autor, é a transposição do que é designado como “saber a ensinar” (saber presente em livros didáticos, revistas de ensino e outros materiais destinados ao ensino) para o “saber ensinado” (o qual é elaborado pelo professor com o objetivo de ensinar algo a seus alunos). A seguir será aprofundado o conceito de transposição didática.

Tentamos apresentar, por meio do texto: “Da esfera celeste ao modelo do MAS”, um exemplo de como pode se dar a transposição de um objeto do saber científico em objeto de ensino. Mostramos também as necessárias reelaborações e reconstruções pelas quais um determinado objeto-modelo científico passa antes de se transformar em um objeto-modelo didático, que por sua vez, é entendido como uma re-representação daquele. Este trabalho é, bem entendido, um estudo limitado, o qual se insere num processo bem mais amplo, postulado pela teoria da transposição didática, que será empregada nesse trabalho a partir de seus aspectos metodológicos e epistemológicos mais relevantes.

Ficam então as indagações: o modelo do MAS é um objeto-modelo didático viável, apto a integrar o ambiente escolar? O modelo do MAS propicia, de fato, a passagem do saber a ensinar em saber ensinado, transformando-o conseqüentemente em um saber possível de ser aprendido?

A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA: DO SABER SÁBIO AO SABER ENSINADO

O conceito de Transposição Didática, de certa forma remete à passagem do saber sábio ao saber ensinado, e portanto a eventual distância, obrigatória que os separa, dá testemunho a esse questionamento necessário, ao tempo que se converte em sua primeira ferramenta (ou primeiro instrumento) (CHEVALLARD, 2005, p. 16. Tradução nossa).

Conforme Chevallard (2005) existem três instancias pelas quais um determinado saber transita antes de se transformar em um objeto de ensino. Chevallard denominou-as “saber

sábio”²⁴, que é o saber desenvolvido e dominado pelos cientistas, pesquisadores, ou especialistas (acadêmicos), o “saber a ensinar”, que é o saber transposto do saber sábio para os livros didáticos, programas de ensino e demais materiais destinados ao ensino, e o “saber ensinado” que é o saber que surge do saber a ensinar, do qual se utiliza o professor no preparo de suas aulas.

Fundamentalmente, a transposição didática (TD) trata da passagem de elementos do saber científico (saber culturalmente aceito por uma determinada comunidade científica) até a sua apresentação em forma de um saber ensinado, que pode ser chamado de saber escolar²⁵. Essa passagem, por sua vez, não ocorre de maneira tão simples; segundo o autor, existe uma série de fatores, agentes e instituições que intervêm direta ou indiretamente na forma pela qual uma parcela do saber sábio vem a se configurar como uma parcela do saber ensinado.

Estes saberes, em cada uma das instâncias de sua elaboração ou desenvolvimento, apresentam diferenças de linguagem e de níveis de produção; enquanto uns se encontram atrelados ao âmbito científico, com uma linguagem mais abstrata, outros estão atrelados ao âmbito escolar, com uma linguagem menos abstrata, comum e, portanto, adaptados ao ensino. Suas elaborações em diferentes níveis de produção sofreriam influências do “entorno social” que, de um lado, é composto pelo grupo dos “acadêmicos”, pelo ministério da educação e seus subordinados, fazendo parte da “sociedade de peritos”: são os principais responsáveis por decidir quais saberes devem ou não ser transpostos para os livros didáticos ou outros materiais destinados ao ensino. Encontram-se ainda nesse entorno social os professores do nível básico, responsáveis por preparar seu material de ensino, via de regra a partir dessas produções. De outro lado, é também composto pela “sociedade laica”, esfera onde se encontram, por exemplo, os pais dos alunos e seus familiares (idem, 25-44)

Essas diferentes sociedades, segundo Chevallard (2005), teriam uma ligação direta ou indireta no que ele denomina “noosfera”, a esfera maior do processo de transposição, o lugar onde ocorrem os conflitos, as negociações, onde se buscam soluções para os problemas didáticos, e mesmo para alguns dos problemas oriundos da sociedade e de suas necessidades²⁶. Todo esse contexto é apresentado em um breve esquema teórico que permite

²⁴ Segundo consta na edição espanhola, o autor solicita que seja usado o termo em francês *savoir savant*, traduzido então para o espanhol como *saber sabio*.

²⁵ Existem muitas outras denominações empregadas para designar a transposição ou conversão do saber (sábio, erudito) em saber escolar. Estas podem ser mais bem identificadas em (SAVIANI, 2000, p. 166-7)

²⁶ Segundo o autor, “Na noosfera, pois, os representantes do sistema de ensino, com ou sem mandato (desde o presidente de uma associação de professores até o simples professor militante) se encontram direta ou

pensar as relações sociais, educacionais e políticas que permeiam o sistema de ensino voltado aos saberes matemáticos.

Percebemos que Chevallard (2005) tenta colocar em pauta um aspecto bastante amplo e complexo, nas relações do sistema educacional com suas influências externas e internas, em torno do saber sábio no processo de sua transposição ao saber ensinado. Esse processo é denominado de transposição didática *lato sensu*²⁷, ou seja, o trabalho de análise sobre entrada de um objeto do saber, no saber sábio (na ciência), e de suas transformações ao ser transposto para o saber a ensinar e deste, para o saber ensinado (na escola). O que em parte, mas em parte apenas, tentamos mostrar em um exemplo, no subcapítulo (2.1.1) quando falamos sobre a transposição dos objetos-modelo do tipo científico aos objetos-modelo do tipo didático ou da esfera celeste ao modelo do MAS.

Não nos ateremos à análise ou discussão das influências sociológicas e políticas em torno dos saberes físico-astronômicos utilizados nessa dissertação, o que poderia ser feito com maior cuidado em outra dissertação, talvez na linha do currículo, por exemplo. Nosso intuito será o de trabalhar na transposição didática *stricto sensu*, isto é, trabalhar na transposição [...] de um conteúdo preciso em uma versão didática desse objeto do saber [...] (CHEVALLARD, 2005, p.46). Este trabalho é essencialmente uma dimensão metodológica e epistemológica da transposição didática (TD).

Para isso, faremos uso de alguns elementos da TD, utilizando-nos de alguns de seus pressupostos teóricos para tentar transpor uma parcela do saber sábio, aceito na literatura astronômica científica atual, em um saber possível de ser ensinado e aprendido na escola. E essa tentativa dar-se-á através do uso de objetos-modelo didáticos ou simplesmente modelos didáticos. Com essa finalidade, vamos apresentar os pressupostos que estamos nos valendo, quais sejam, o da noção de “vigilância epistemológica”, a “preparação didática” do saber

indiretamente com os representantes da sociedade (os pais de alunos, os especialistas da disciplina que militam em torno do seu ensino, os emissários dos órgãos políticos) (CHEVALLARD, 2005, p. 28-9).

²⁷ A esse respeito ele faz um comentário sobre o “conceito de distância (entre dois pontos) [que] se utiliza espontaneamente ‘desde sempre’” (2005. p. 46) no ensino de matemática. O conceito de distância em matemática, quando no seu contexto introdutório no saber sábio em 1906 por Fréchet, foi visivelmente alterado quando da sua introdução em 1971 no saber a ensinar, isto é, “nos programas de geometria da sétima série, em relação com a reta” (Astolfy & Develay, 1995, p. 48). Esses autores interpretaram na obra **Recherches em didactique des mathématiques**, vol. 3.1, Grenoble, La Pensée Sauvage, 1982 em que Chevallard e Joshua postularam sobre essa alteração, e que segundo eles, “esvaziou completamente a idéia original de semelhança, que estava no coração do conceito de Fréchet” (idem.) O que levou Chevallard e Joshua a perceberem as modificações que um determinado conceito sofre em seu estatuto teórico bem como em suas relações com outros conceitos ao ser transposto para o ensino. Levou-os a perceber então, que existe uma “epistemologia escolar” que pode ser distinguida da epistemologia em vigor nos saberes de referência” (idem.). Foi o que levou Chevallard a desenvolver a primeira versão da teoria da transposição didática em 1985.

ensinado e sua distribuição no decorrer de um certo intervalo de tempo, o “tempo didático”. Partimos antes para uma rápida passagem por alguns aspectos do saber sábio, do saber a ensinar e do saber ensinado antes de nos referirmos a esses pressupostos.

2.2.1 Alguns aspectos acerca do saber sábio, do saber a ensinar e do saber ensinado

Podemos considerar como saber sábio todo aquele saber que é desenvolvido pelo cientista, pesquisador ou especialista em uma determinada área do conhecimento, saber que ganha forma, especialmente, no âmbito acadêmico. Desse modo, podemos pensar o seu desenvolvimento vinculado especialmente aos laboratórios de pesquisa, às universidades ou mais especificamente aos chamados “GPs” (grupos de pesquisas) que nela se encontram. De certa forma, estes saberes são produzidos, geralmente, em centros de pesquisa que não estão ligados diretamente ao ensino básico (PAIS, 1999; CAMPOS, 2006).

O uso do adjetivo “sábio” ou “erudito” não deve ser pensado como um saber superior, que atinge tudo e a todos como uma verdade absoluta, ou que deva ser aceito em todas as situações da vida cotidiana. Quando Chevallard (2005) se refere ao saber sábio está pensando em um saber que está vinculado, intimamente, aos saberes acumulados culturalmente pela humanidade e, regidos por uma comunidade científica: trata-se do assim chamado saber científico, um saber que tem as suas especificidades e cultura própria²⁸.

Segundo Pais (1999, p. 21) o desenvolvimento do saber científico é regido pela cultura científica e ligado a diversas áreas de interesse, tais como a área política, econômica, tecnológica, educacional, entre outras. E é através dessas áreas que acaba assumindo diferentes papéis na sociedade.

No sistema educacional o saber científico tem papel decisivo, é através dele e com ele que, algumas vezes, os acadêmicos tomam decisões, repensam os conteúdos, os objetivos e as metodologias que farão parte, em algum momento, do currículo escolar ou de qualquer outro projeto de ensino. Porém, em termos de conteúdos apresentados pelos livros científicos, geralmente, há certa dificuldade de compreensão por parte dos alunos. Uma destas

²⁸ “O uso do termo ‘sábio’ leva em muitos casos a um sentimento de superioridade por parte dos e das profissionais em matemática. A esse respeito: ‘ existem matemáticos que acreditam, e alguns deles chegam até a afirmar que se encontram em um nível igual ou superior a Deus, o qual não é só uma heresia, senão uma falsidade. Dentro de seu trabalho [Chevallard] toma como iguais as noções: saber sábio e saber científico” (CAMPOS, 2006, p. 2, NT. 2. Tradução nossa).

dificuldades, conforme Pais (1999, p.22) está diretamente ligada ao “problema da linguagem”, que precisa ser levada em consideração no processo da transposição:

[...] o saber científico não pode ser ensinado na forma como se encontra redigido nos textos técnicos, essa questão se constitui num obstáculo que deve ser considerado no processo da aprendizagem. [...] Para viabilizar a passagem do saber científico para o saber escolar, torna-se necessário um trabalho didático efetivo a fim de proceder a uma reformulação, visando à elaboração de uma prática educativa (PAIS, 1999, p. 22).

Antes de passarmos a discutir a respeito do “saber a ensinar” é importante termos em mente que, todo conhecimento científico “[...] *in statu nascendi*” está vinculado ao seu produtor e se vivencia com ele, por assim dizer”, devendo necessariamente sofrer uma espécie de “despersonalização” e uma reformulação antes de ser submetido à publicação, ou seja, precisa perder algumas características do contexto de sua produção, dos problemas enfrentados pelos cientistas, da sua história, do processo que lhe deu desenvolvimento para que se torne comunicável. Estas primeiras transformações do saber acontecem no seio da comunidade científica (CHEVALLARD, 2005, p. 24. Tradução nossa).

Resgatando Reichenbach (1961), Alves Filho, Pinheiro & Pietrocola (2001b) exemplificam esse cenário de produção do saber sábio até o momento de sua primeira publicação no âmbito acadêmico. Para os autores, o cientista no processo de desenvolvimento do saber elabora métodos próprios para a resolução de problemas, discute com seus companheiros de pesquisa sobre seus resultados preliminares, os revê novamente até que chega a uma resposta aparentemente satisfatória. É o que se denomina “contexto de descoberta”, o momento em que o cientista busca uma possível resposta para seu problema. Depois, ao analisar e julgar a sua descoberta como pertinente decide encaminhá-la para publicação em alguma revista ou periódico da área. Aparece então com mais força o que se chamaria de “contexto de justificação”; neste período, por exemplo, o trabalho é analisado por outros especialistas (seus pares), avaliado quanto aos métodos, teorias utilizadas, resultados encontrados e a forma pelo qual está expresso. Sua apresentação deve ser racional e destituída de qualquer sentimento ou emoção. É o primeiro momento da transposição – “não didática - mas, diríamos, científica, caracterizada por uma despersonalização e reformulação do saber” (2001b, p.80).

Quando o saber sábio ou saber científico passa a ser visto como um saber possível de ser ensinado ele pode então se transformar em um saber a ensinar. Trata-se, na terminologia de Chevallard (2005), do trabalho de “transposição externa”, ou seja, da transposição do saber científico para os programas de ensino, livros didáticos entre outros materiais destinados ao

ensino. Nesta nova instância do saber, dá-se novamente, uma despersonalização e uma reformulação do saber sábio, que passa a assumir de vez uma forma didática ou uma forma possível de ser ensinada pelo professor e aprendida pelos seus alunos (PAES, 1999). Nessa transposição ou reformulação necessária, o saber a ensinar precisa ao menos manter consigo alguns aspectos da sua “origem, procedência, legitimidade”, que em muitos casos parece inserta no contexto escolar (CHEVALLARD, 2005, p. 15-9. Tradução nossa).

Encontra-se neste ponto o que Chevallard (2005) afirma ser o real motivo da existência da transposição didática: “[...] o funcionamento didático do saber é distinto do funcionamento acadêmico, porque existem dois regimes do saber, inter-relacionados, mas não sobrepostos (p. 25. Tradução nossa.). Em consonância com o que se concebe aqui, podemos pensar que

[...] enquanto a descoberta da ciência está diretamente vinculada ao saber acadêmico, o trabalho do professor envolve mais uma simulação de descoberta do saber. Enquanto o saber científico é apresentado à comunidade científica através de artigos, teses, livros especializados e relatórios, o saber a ensinar se limita quase sempre aos livros didáticos, programas e outros materiais de apoio. (PAIS, 1999, p. 23).

Para Alves Filho, Pinheiro & Pietrocola (2001b) a passagem do saber sábio ao saber a ensinar envolve um número bem maior de profissionais do que aquele que gerou o saber sábio, isto é, daquele contexto de descoberta e justificação. Nesse processo de transposição externa, marcando a passagem do saber sábio ao saber a ensinar, participam não só os cientistas e os especialistas da área como também participam outros profissionais mais diretamente vinculados à escola como, por exemplo, os professores, os autores de livros, os diretores, as secretarias, os pais dos alunos, a mídia. Tudo isso não conduz necessariamente a um ambiente democrático onde se decidem as especificidades de um determinado saber a ser ensinado, o que ocorre com excessiva frequência é uma luta “[...] pela defesa de interesses próprios” (p.81).

Considerando as diferenças entre as instâncias de produção do saber e os modos em que são produzidos e destinados, concordamos com os autores ao considerarem que “[a] esfera do saber a ensinar **não gera saber científico – mas gera um novo saber!**” (idem, p.82, negrito dos autores.) Um saber adequado ao processo de ensino, transformando o saber sábio “em material ‘ensinável’ e inserido em um discurso didático com regras próprias” (idem). Nesse sentido, o saber a ser ensinado deve ser reorganizado e reestruturado em um “‘novo saber’, intrinsecamente diferente do saber sábio, que lhe serviu de referência” (idem). Porém, um saber que ainda mantém alguns elementos dos seus referentes científicos.

Já em relação ao “saber ensinado” precisamos ter em mente aquele saber que é transposto dos livros didáticos ou de outros materiais de apoio dos quais o professor se vale para preparar as suas aulas e ensinar aos seus alunos. Esta nova elaboração do saber marca uma nova fase na transposição, é a fase da “transposição interna”, aquela que ocorre no interior do sistema de ensino e que transforma o saber a ensinar em saber ensinado.

O que geralmente ocorre nessa nova instância do saber, nesta nova transposição do saber, segundo Chevallard (2005), é que nem sempre o “texto do saber” (p. 17), ou melhor, o plano de ensino / aula desenvolvido pelo professor leva em consideração o saber designado como saber a ensinar. É necessário que o professor prepare o seu material de ensino baseado neste saber. “O saber ensinado deve aparecer conforme o saber a ensinar. Ou melhor, a questão de sua adequação não deve ser formulada” (CHEVALLARD. id. p. 17. Tradução nossa). Com isso, o autor parece afirmar que o “saber ensinado” precisa estar ligado, no mínimo, a um saber que mantém um número suficiente de elementos cuja origem são os saberes de referência, uma vez que é na escola que o saber sábio acaba sofrendo um grau bem maior de despersonalização, acarretando muitas vezes a perda de sua legitimidade e, transformando-se em um mera simplificação.

De acordo com Alves Filho, Pinheiro & Pietrocola (2001b) essa distância do saber ensinado aos saberes de referência (científicos), apesar de inevitável em alguma medida, é excessiva não só pela precariedade dos materiais didáticos utilizados na escola básica, que em muitos casos são frutos de uma simplificação de conceitos e não de uma transposição didática propriamente dita, como também, devido às pressões internas e externas sofridas pelos professores, tanto das secretarias, das direções, dos pais dos alunos, quanto dos editores de livros. É como se o professor, ao preparar suas aulas, se visse numa espécie de “jogo de força”, pois ao mesmo tempo em que tem que ensinar os saberes legitimados culturalmente por uma determinada comunidade científica também tem que se adequar aos interesses do sistema educacional em que está inserido.

Essas observações trazidas pelos autores levam, é certo, à necessidade de ampliar o processo da transposição didática, a qual não pode mais ser vista como um mero processo de transposição de saberes científicos na direção da escola. Caso contrário, aparece o grave risco de a função social do saber simplesmente deixar de existir, tornando-se vazia de significado para uma parcela significativa do entorno social, a saber, a escola e os que a ela estão ligados mais diretamente. Impôs-se então a necessidade urgente de, conjuntamente com o processo da TD, recorrer também às chamadas “práticas sociais de referência” introduzidas por Martinand em 1986 (2001b. p.86-7; ASTOLFY & DEVELAY, 1995, p. 52), as quais legitimaram a

seguinte pergunta do professor: “para que serve isso na sociedade?” (CLERC & RODUIT, 2006. p.3. Tradução nossa).

Desse modo, percebeu-se que não basta ao professor apenas desenvolver um texto do saber ou plano de ensino baseado em elementos provindos do saberes científicos, precisa também recorrer às práticas sociais de referência, isto é, relacionar o saber ensinado ao cotidiano e a cultura do aluno (ALVES FILHO, PINHEIRO & PIETROCOLA, 2001b, p.87).

Deve-se, de maneira inversa, partir de atividades sociais diversas (que podem ser atividades de pesquisa, de engenharia, de produção, mas também de atividades domésticas, culturais...) que possam servir de referência a atividades científicas escolares, e a partir das quais se examina os problemas a resolver, os métodos e atitudes, os saberes correspondentes (ASTOLFY & DEVELAY 1995, p.53).

Dito de outra forma, as práticas sociais de referência interessam à didática, pois permitem ao professor buscar elementos ou materiais de ensino que estão mais próximos do contexto social dos alunos, da linguagem cotidiana, comum, relacionando-a quando possível ao contexto científico. Mas não somente isso, recorrer às práticas sociais de referência leva o professor a trabalhar na TD de um determinado aspecto do saber de forma a mostrar o seu valor social, isto é, relacionando-o com o que ocorre na vida cotidiana.

No que se refere às atividades de modelização que são objeto desse trabalho, explorar, elaborar e construir objetos-modelo didáticos para o entendimento de alguns aspectos da realidade dos fenômenos naturais são formas de legitimar junto aos alunos o trabalho com práticas sociais de referência. Os alunos não só são estimulados a desenvolver atividades práticas de construção de modelos como também se colocam no papel de quem explica e prevê a duração aproximada do dia, a causa das estações do ano, entre outras, relacionando desse modo suas próprias concepções sobre o que ocorre no cotidiano com as concepções vindas da astronomia. Adicionalmente, diríamos que trabalhar com objetos-modelo didáticos enquanto uma forma de reconstrução dos objetos-modelo científicos é uma maneira de permitir aos alunos, de alguma forma, entender como se dá, em parte, o processo de construção da ciência, a qual, de qualquer forma, apreende tão somente alguns aspectos da realidade.

2.2.2 Transposição didática e o exercício da vigilância epistemológica

A transposição didática, em primeiro lugar, leva ao professor a ideia de que os saberes contidos nos livros didáticos, nos modelos didáticos e outros materiais de ensino são uma

adaptação, uma reformulação, uma reelaboração necessária dos saberes científicos, ambas fruto via de regra de um longo processo. “Negá-la ou ignorá-la é aceitar os conteúdos científicos contidos nos livros didáticos como uma reprodução fiel da produção científica do homem” (ALVES FILHO, PINHEIRO & PIETROCOLA, 2001b, p. 88).

Em segundo lugar, essa é uma evidência que permite ao professor analisar e repensar o material que tem disponível para ensinar aos seus alunos, tentando perceber se esse é ou não adequado ao ensino dos seus referentes científicos ou pelo menos se não se afastam totalmente do significado dos conceitos em estudo, levando-o, caso necessário, recorrer a outros materiais que sejam adequados aos seus objetivos.

Desse modo, se entendemos que o “saber a ensinar” se limita, quase sempre, aos livros didáticos (PAIS, 1999, p.23), precisamos ter certo cuidado naqueles casos em que esses materiais não apresentam requisitos satisfatórios para se constituírem em bons meios para o ensino. Um exemplo dessas inadequações são os erros de vários tipos (conceituais, de revisão, anacronismos históricos, e outros). Langhi (2007, p. 106), por exemplo, já tinha observado que um dos maiores problemas enfrentados no ensino de astronomia no Brasil está ligado à falta de material adequado e principalmente aos livros didáticos adotados. Esses, mesmo depois de terem sofrido reformulações pelo Ministério da Educação (MEC) continuavam apresentando uma série de erros conceituais que dificultam o estudo e a compreensão dos objetos dessa ciência por parte dos professores e dos alunos.

Essa consideração é importante, e nos permite colocar um terceiro aspecto postulado por Chevallard na TD, o exercício da “vigilância epistemológica” a ser promovido durante o processo da transposição.

Para o professor, [a transposição didática] é um instrumento que permite repensar, tomar distância, interrogar as evidências, por em questão as idéias simples, desprender-se da enganosa familiaridade de seu objeto de estudo. Em uma palavra, o que lhe permite exercer sua vigilância epistemológica. (CHEVALLARD, 2005, p. 16. Tradução nossa).

No que tange a utilização de objetos-modelo didáticos no ensino de astronomia, como um instrumento de auxílio aos livros didáticos, a noção de vigilância epistemológica, entendemos, nos oferece a possibilidade de pensar nas dificuldades que os alunos poderão enfrentar quando se deparam com conceitos que ainda não estão muito bem apreendidos, por conta (entre muito outros fatores possíveis) das limitações desses materiais. Assim, quando estamos trabalhando com conceitos de esfera celeste, plano do horizonte, movimento aparente do Sol, entre outros, precisamos tentar entender o que os alunos entendem por isso, quais são

as suas concepções prévias a esse respeito e o que podemos fazer para poder transformá-las e relacioná-las com as concepções aceitas pela astronomia.

Em outras palavras, investigar como os alunos compreendem as ideias, as noções, os conceitos, como representam o entendimento que possuem e o uso que fazem dele a partir de atividades de modelização requer uma atenção redobrada do professor, requer um exercício de vigilância epistemológica, uma espécie de conduta a ser adotada pelo docente frente aos objetos do saber que pretende ensinar. Essa conduta poderia começar por uma reflexão profunda sobre as dificuldades que seus alunos poderiam vir a enfrentar antes mesmo de serem inseridos nas atividades de modelização; essa reflexão poderia mesmo se prolongar por todo o processo.

Nessa pesquisa, a vigilância epistemológica é importante na medida em que trabalhamos com uma série de conceitos da astronomia que não são imediatamente perceptíveis, mas são mesmo assim inteligíveis. Assim, ao pesquisador se apresentam vários problemas; o principal deles é o de como fazer com que os alunos consigam superar a analogia substancial colocada sobre os objetos-modelo didáticos, e as entender como fatores psicológicos para o entendimento da analogia funcional? Isto é, sabemos que existe uma semelhança ao nível da estrutura, das formas entre a faixa que representa parte da esfera celeste do modelo do MAS e a esfera celeste especificamente conceitual (aquela das figuras 1,2 e 3); existe também uma mesma semelhança entre o plano do horizonte (o CD do modelo do MAS) e o do plano do horizonte especificamente conceitual (aquele das figuras 2 e 3). Portanto, do ponto de vista da analogia substancial, da estrutura, das formas, existe uma semelhança entre essas representações. Porém, sabemos que a esfera celeste do modelo do MAS não é estruturalmente perfeita (já que é cilíndrica e não esférica) e que o plano do horizonte é um CD (mas poderia ser uma tampa de panela, um disco de pizza, por exemplo). O importante, em nosso ponto de vista é que os alunos entendam que essa semelhança não é tão importante quanto aquela semelhança que há ao nível das funções, da analogia funcional, do que conceitualmente representam.

Outro problema é como fazer com que os alunos aceitem que boa parte da mecânica envolvida nos objetos-modelo didáticos é uma boa aproximação conceitual do que acontece no mundo real, mas que mesmo assim, não o atinge completamente?

No intuito de superar esses problemas, e imbuídos do espírito da vigilância epistemológica, pensamos em oferecer aos alunos um conjunto de ambientes de aprendizagem, permeado por uma pluralidade de objetos-modelo didáticos, de tal forma que eles pudessem estabelecer relações de semelhança entre as noções e conceitos trabalhados em

um ambiente (na sala de aula) e os relacionar novamente em outros ambientes (no laboratório de física e no museu de ciências), possibilitando-os talvez, a ativarem os processos de aprendizagem por recuperação e transferência de informações (resgataremos esse assunto no próximo capítulo). Por ora, os ambientes de aprendizagem enquanto espaços destinados a atividades de modelização são os meios dos quais nos valem para a preparação didática dos saberes astronômicos a ensinar. Estes ambientes são os locais em que nos colocamos vigilantes, para tentar concretizar a transposição do saber a ser ensinado em saber a ensinar.

2.2.3 Etapas da preparação didática

No processo da transposição do saber a ensinar ao saber ensinado, o desenvolvimento de uma “preparação didática” ou a elaboração de uma prática de ensino é algo necessário para que o professor consiga realizar uma determinada atividade com seus alunos. Essa preparação se faz presente na medida em que algumas ideias, noções e conceitos referentes a um determinado saber são contemplados (outros nem sempre) em um plano de ensino / aula, ou melhor, em um “texto do saber” (Chevallard 2005, p. 68. Tradução nossa).

O material produzido pelo docente no qual um objeto do saber torna-se ensinável ou “escolarizado”, passa inevitavelmente por algumas modalidades discursivas necessárias, que o distanciam substancialmente do saber de origem. Estas modalidades foram identificadas primeiramente pelo Sociólogo Michel Verret e tratadas sob um enfoque da didática por Chevallard (2005), a saber: “a desincretização do saber; a despersonalização do saber; a programabilidade da aquisição do saber [ou tempo didático]; a publicidade do saber; o controle social das aprendizagens” (p. 67).

A “desincretização do saber” ocorre quando por necessidade de “explicitação discursiva”, através da preparação do plano de ensino / aula, ou melhor, da “textualização do saber”, delimita-se os objetos do saber (os conteúdos) em “saberes parciais” (2005, p. 68-9). Dito de outra forma, a desincretização ou o contrário de sincretização: é uma maneira de apresentar um determinado objeto do saber aos alunos de modo separado, estudando alguns dos seus elementos por vez, partindo dos aparentemente mais simples aos mais complexos. Em física, por exemplo, Chevallard cita o exemplo de Destouches (1956) que argumentava sobre a necessidade do estudo de algumas teorias físicas parciais antecedentes, como preparação ao estudo de outras teorias.

Uma maneira de abordar o estudo de uma teoria física é começar pelo exame de suas diversas teorias parciais. Esse é o método que temos seguido; começamos pelo cálculo vetorial, a geometria de massa, a cinemática, a cinética. São teorias fáceis de entender e que preparam para o estudo da dinâmica (...) (CHEVALLARD, 2005, p. 69-70. Tradução nossa).

Esse processo de separação dos saberes para o estudo de seus elementos em diferentes partes, levando-os dessa maneira a outros saberes de modo sucessivo é aprovado por Chevallard na situação da física, exposta acima, porém é desaprovada até certo ponto quando se trata do que ele define como “noções matemáticas, noções paramatemáticas e noções protomatemáticas”. Ou, a forma como os objetos do saber matemático são ensinados em matemática.

De acordo com o autor, as noções matemáticas são aquelas em que o professor, geralmente, constrói com seus alunos em um determinado nível de escolaridade. As noções paramatemáticas, aquelas que são aceitas sem uma construção prévia, geralmente, apresentadas por mostraçã, aceitas sem demonstração lógica, num mesmo nível de ensino. Por exemplo, digamos que o professor solicite aos seus alunos do nível básico de escolaridade a demonstração matemática da seguinte proposição: Se p é um número ímpar, então p^2 é ímpar. Provavelmente, esta proposição não seria demonstrada no ensino fundamental e médio, pois os diversos símbolos e propriedades gerais da lógica matemática são trabalhados, em grande parte, ao nível do ensino superior. Assim, essa demonstração é uma noção matemática num curso de matemática no ensino superior e uma noção paramatemática (aceita sem questionamento ou demonstração) no ensino fundamental e médio (assim como, “a noção de parâmetro, a noção de equação, a noção de fatoração” o são muitas vezes (2005, p. 60-2).

Já em relação às noções protomatemáticas, o autor as define como aquelas que dentro de uma determinada atividade, em meio ao estudo de uma noção matemática ou paramatemática o professor espera que os alunos atinjam certos objetivos colocados pelo contrato didático²⁹. Assim, espera-se que os alunos saibam formular questionamentos; descobrir a sua utilização em certo número de situações novas; realizar experimentações; coletar dados e aplicá-los em novos contextos, etc. É o desenvolvimento das chamadas habilidades e competências (2005, p. 60-3).

Chevallard (2005) se refere então à desincretização ou delimitação dos saberes em partes, no sentido aqui expostos, como algo necessário no ensino, porém ao mesmo tempo

²⁹ O termo contrato didático vem de Brousseau (1986) e significa o conjunto de regras que regem a relação entre professor, alunos e objetos do saber.

problemático, necessitando ser revista durante o processo da transposição do saber a ser ensinado. Necessário, pois é impossível reconstruir com os alunos “todo o saber” em estudo, devido (entre tantos outros fatores), às limitações colocadas pelo “tempo didático” ou tempo de ensino; problemático, pois algumas noções podem ser consideradas como pré-requisitos para o entendimento de outras. Outra armadilha desse processo é a que leva o professor a ignorar o “tempo de aprendizagem” dos alunos, isto é, ele esquece que o tempo necessário para que cada aluno internalize e se aproprie de determinado conhecimento é variável, e frequentemente maior do que se esperaria que fosse.

Como segunda modalidade, a “despersonalização do saber”, se configura pela necessidade da realização discursiva posta no texto do saber, como um saber destituído do contexto de sua produção, da sua história, do seu desenvolvimento (do empenho, dos problemas enfrentados e dos diferentes sujeitos que o desenvolveram). Esse é talvez um dos grandes problemas da textualização, que em muitos casos, por carregar uma enorme despersonalização, acaba por apresentar um saber simplificado e distanciado das suas origens (2005, p. 71-2).

A “publicidade do saber” é a terceira modalidade que surge como critério para a apresentação de um saber (conteúdo) pelo professor aos seus alunos. Considerando as duas modalidades precedentes, esta é a que virá a realizar um “controle social das aprendizagens” através da preparação de um saber objetivo, intencional, posto sobre a forma de um texto do saber. (2005, p. 73).

Dessa explicitação do saber ensinado em forma de um texto surge a necessidade de uma orientação temporal discursiva racional que controle o “princípio” e o “fim (provisório)” da atividade a ser realizada. Assim, o plano de ensino em forma de um texto do saber (desincretizado e despersonalizado) busca controlar o início, meio e fim da atividade ou como diz Chevallard: “O texto é uma norma de progressão do conhecimento” (idem).

Daí provém à modalidade final, designada: “programabilidade da aquisição do saber” ou “tempo didático”. Este por sua vez, esforça-se por atingir, através de uma sequenciação progressiva, a aprendizagem dos saberes pelos alunos. Entretanto, segundo o autor, devemos ter em mente que “por mais objetivo que seja um saber, não é verdade que se possa explicá-lo de A a Z” (2005, p. 74). Mesmo que seja “[...] muito necessário que o processo da aprendizagem seja sequencial [...]” não se tem nenhuma garantia de que a aprendizagem se suceda tal como se espera que ela ocorra (2005, p. 72-73).

2.2.4 O tempo de ensino e o tempo de aprendizagem em torno do texto do saber

Devido às exigências do funcionamento didático, vimos que a construção de um plano de ensino/ aula aparece como algo fundamental para a realização do trabalho de preparação do saber ensinado pelo professor. Assim, a criação de um texto do saber passa por algumas modalidades discursivas (desincretização, despersonalização) necessárias, que possibilitam uma “relação específica com o tempo didático [quer dizer, com a] programabilidade da aquisição do saber” (2005, p. 74).

Como aspecto fundamental do processo de ensino o desenvolvimento da atividade deve estar, necessariamente, submetida a uma relação “saber/ duração” (idem). Dessa forma, o saber encontra-se delimitado e submetido ao tempo didático ou tempo de ensino: aquele sequencialmente programado pelo professor para ensinar determinado objeto do saber aos seus alunos. Podemos encontrá-lo nos “programas escolares e nos livros didáticos”, onde sua principal finalidade está na tentativa de “[...] ‘enquadrar’ o saber num determinado espaço de tempo” (PAIS, 1999. p. 31). Um dos grandes problemas que se apresentam nesta delimitação temporal do saber se encontra na extrema ênfase dada pelo professor no vencer o conteúdo, sendo o tempo de ensino, por consequência, remetido ao tempo da aprendizagem (CHEVALLARD, 2005).

Segundo Chevallard (2005) a progressão de um texto do saber no âmbito escolar, em torno de um determinado objeto de ensino e em função de um tempo didático, não ocorre da mesma forma que no âmbito acadêmico. Enquanto neste último essa progressão se dá em torno da resolução de problemas por meio de processos investigativos que suscitam repensar os meios, analisar hipóteses e confrontar diferentes teorias: “[...] onde um problema resolvido (ou provisoriamente abandonado) leva a formular e resolver outros problemas” (2005, p. 75) No âmbito escolar, encontra-se atrelado a uma determinada “contradição antigo / novo” (2005, p. 76).

O que seria esta contradição? Segundo o autor, para que um determinado objeto do saber possa se tornar um objeto de ensino precisa aparecer como um “objeto com duas faces contraditórias” (idem). A primeira face deve surgir como uma novidade para o aluno (algo novo), ou seja, deve aparecer como um objeto a ser estudado e compreendido no início da atividade. Este é o primeiro momento da dialética, a qual visa à criação de um contrato didático entre professor e alunos em busca da constituição de um “objeto de ensino e campo de aprendizagem” (idem). Na outra face, este objeto visto como algo novo (no decorrer da

atividade) deve aparecer como algo antigo, isto é, algo já trabalhado e possivelmente conhecido pelos alunos, permitindo-lhes a recuperação dos saberes estudados anteriormente e sua possível aplicação futura. O que geralmente se espera é que os alunos superem esta contradição, avançando juntamente com o professor na seqüência da atividade, “de tal maneira que [essa] contradição [seja] superada no êxito da aprendizagem”. (2005, p. 77) Entretanto, o autor submete à consideração do leitor aqueles casos em que há um “bloqueio” na dialética, isto é, quando os alunos não conseguem avançar juntamente com o professor. E isso geralmente ocorre por conta, essencialmente, de dois fatores: a diferença entre o tempo de ensino e o tempo de aprendizagem.

Enquanto o tempo de ensino vem como um “[...] modelo legalista de uma duração progressiva, acumulativa e irreversível [...]” o tempo de aprendizagem não pode ser mensurado, pois se encontra submetido à subjetividade de cada um (2005, p. 79-80) Ele nunca será igual para cada aluno e depende exclusivamente da superação dos bloqueios que ocorrem em um determinado momento da atividade. Isso sugere que a programação de um ambiente de aprendizagem não pode obedecer rigidamente a uma seqüência pré-definida e imutável (independentemente do que possa vir a ocorrer no transcorrer do encontro) e nem seguir uma ordem rigorosamente linear, pois “[...] é sempre necessário retomar as antigas concepções para poder transformá-las” (PAIS, 1999, p.31).

Como fazer então para que os alunos superem esta contradição em atividades de modelização, por exemplo? Pensamos que é de suma importância que o professor-modelizador esteja atento para identificar as reações dos alunos frente à introdução de um “novo objeto do saber” (CHEVALLARD, 2005, p. 78), levando sempre em consideração que as suas concepções prévias em relação aos objetos do saber (astronômico, no caso desse trabalho) nem sempre se encontram previamente construídas. Além disso, ao aceitar que cada aluno encontra-se em diferentes momentos de aprendizagem e que, embora nem todos consigam atingir o mesmo patamar de conhecimento no qual o professor se encontra (pelo menos em determinados momentos), uma atividade interessante seria permitir situações em que esses pudessem formular as suas próprias perguntas e, com o auxílio do professor, se aproximar cada vez mais do saber que intentam apreender (2005, p.92- 101).

A preparação didática colocada anteriormente segundo as considerações de Chevallard é importante, pois coloca alguns critérios para a elaboração de um texto do saber ou plano de ensino/aula. Mas a construção do plano de ensino / aula segundo esses critérios apresenta alguns problemas.

A desincretização, por exemplo, permite ao professor pensar em algumas noções e conceitos envolvidos no saber (ou saberes) que está pensando ensinar e delimitar entre eles, aqueles elementos do saber necessários as suas finalidades, indo das partes aparentemente mais simples as mais complexas.

Em nosso caso, para que os alunos possivelmente entendam o modelo do MAS e possam operá-lo com autonomia, realizando algumas previsões, é necessário, primeiramente, acreditamos, que eles tenham uma noção sobre alguns conceitos que estão a ele atrelado. Assim, a esfera celeste, o plano do horizonte e o planeta Terra ocupando o centro desta esfera são algumas noções e conceitos básicos a serem trabalhados em sala de aula, logo no início da atividade, disponibilizados para análise em um texto do saber; depois, avançando em direção a outras noções e conceitos mais complexos como, por exemplo, a invariância da inclinação do eixo de rotação da Terra (levando em consideração o período de uma vida humana) como a principal responsável pela causa das estações do ano e, o movimento aparente do Sol como consequência dos movimentos de rotação e translação da Terra, questões a serem debatidas em laboratório de física por meio da modelização do modelo Sol-Terra; depois mais, no final das atividades, estas noções e conceitos mais uma vez serão debatidas no museu de ciências durante a sessão do planetário inflável. Desse modo, somente depois dessa sequenciação progressiva, por fim, em sala de aula, daremos então início a elaboração, construção e exploração do modelo do MAS.

Foi também pensando na superação de possíveis bloqueios que os alunos possam apresentar no progresso do ensino, isto é, para que eles consigam compreender um saber novo (não conhecido) e recuperá-lo posteriormente como um saber antigo (já conhecido), que procuramos lhes armar de uma pluralidade de objetos-modelo didáticos. Em geral, procedemos assim: partimos de um objeto-modelo científico (com algumas adaptações) na direção de objetos-modelo didáticos, até chegarmos ao momento da modelização do modelo do MAS, num processo em que visamos propiciar a recuperação e a transferência dessas noções e conceitos por meio da observação e da análise das semelhanças conceituais entre esses diversos modelos. Mas esse é um assunto a ser trabalhado com mais propriedade no capítulo 4.

Sabe-se que a partir da desincretização, uma das etapas da preparação didática em que o saber é dividido em partes, é também promovida a despersonalização do saber a ensinar. O professor não consegue ter acesso a todos os elementos que deram origem ao saber e acaba ensinando-o, em muitos casos, de forma natural, como se ele tivesse sido inventado naquele momento, num passo de mágica, destituído de sua história, dos seus problemas e do esforço

daqueles que participaram no seu desenvolvimento. Essa é uma modalidade discursiva que geralmente se encontra presente no texto do saber, e que mereceria sem dúvida ser repensada.

É praticamente aceitável que o docente não consiga voltar completamente aos referentes históricos e epistemológicos do saber sábio no ambiente escolar, contribuindo assim para a sua inevitável despersonalização. Ocorre que, em geral, o professor não possui um tempo disponível para realizar essa tarefa em sala de aula, e muitas vezes lhe falta material adequado ou mesmo formação específica para tal (ALVES FILHO, PINHEIRO & PIETROCOLA 2001b). Porém, é certo que “por maior que tenham sido a reelaboração e a reorganização no processo gerador do saber a ensinar, [sempre] permanecem alguns aspectos semelhantes com o *saber sábio*” (2001b, p. 83. Itálico dos autores). Levado isso em consideração, às vezes é possível e importante legar aos alunos um pouco da origem do saber que estão estudando, alguns dos seus aspectos históricos. Isso os ajudaria a perceber que o assunto do qual tratam, num curto espaço de tempo, é limitado e no melhor dos casos alcança alguns aspectos da realidade em estudo, que é bem mais ampla e complexa.

Buscando diminuir essa despersonalização do saber, pensamos em oferecer aos alunos um breve contexto histórico (através da elaboração de um texto do saber) com o intuito de discutir com eles a respeito da gênese da esfera celeste, fornecendo-lhes uma ideia dessa representação, que até onde se tem conhecimento, provém dos antigos povos gregos (OLIVEIRA FILHO & SARAIVA, 2000). Assim procedendo, tentamos começar por um cenário em que “*saber sábio e saber a ensinar* buscam manter um diálogo com a realidade, na qual alguns conceitos, definições e experimentos mantêm as mesmas características e se preservam em ambos os saberes”. (2001b. p. 84. Itálico dos autores).

Munidos dos pressupostos epistemológicos e metodológicos da TD aqui apresentados, pensamos em avançar em relação ao texto do saber, que geralmente está organizado e estruturado na forma de um texto impresso, no papel. É bem verdade que partimos dessa criação, mas como comentamos anteriormente, recorreremos também às práticas sociais de referência, que por sua vez, têm por objetivo permitir ao pesquisador-professor trabalhar na transposição didática de objetos do saber através de práticas, experimentos, modelizações, que visam aproximar a realidade cotidiana, interpretada pelos alunos, com a realidade científica, interpretada pela astronomia.

Adicionalmente, como também já comentamos, porém agora reiteramos, o desenvolvimento de um conjunto de ambientes de aprendizagem, permeado por uma pluralidade de objetos-modelo didáticos, é também uma tentativa de diversificar o modo como o ensino de astronomia parece ser comumente reproduzido na escola básica: através de

livros didáticos de geografia (algumas vezes o único material disponível) (LANGUI, 2007). Ao propormos atividades que vão além do estudo de um texto impresso em sala de aula, passando por experimentos com objetos-modelo didáticos em laboratório de física, através da simulação do modelo Sol-Terra, em museu de ciências com o uso de planetário inflável e, voltando a sala de aula para a modelização do modelo do MAS, provavelmente, não só aumentamos o tempo de ensino como também aumentamos o tempo de aprendizagem, oferecendo talvez, um terreno maior para que a aprendizagem aconteça.

Por fim, através da forma como entendemos o processo da transposição didática e da maneira como estaremos trabalhando nela, tentaremos identificar se o modelo do MAS pode vir a se tornar um objeto-modelo didático adequado para ser inserido na instância do saber ensinado. Dito de outra maneira será desse modo que buscaremos oferecer subsídios aos professores da escola básica que desejam aproveitar desse objeto-modelo didático para preparar suas aulas ou até mesmo para criar as suas próprias modelizações.

3 AMBIENTES DE APRENDIZAGEM E AS CONCEPÇÕES PRÉVIAS EM ASTRONOMIA

3.1 O ENSINO DE ASTRONOMIA EM AMBIENTES FORMAIS E NÃO-FORMAIS DE APRENDIZAGEM.

Langui & Nardi (2009) em um ensaio publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física realizaram um levantamento bibliográfico geral sobre o ensino de astronomia no Brasil apresentando uma tabela sobre as principais instituições, grupos de pesquisa profissional e amadora, revistas especializadas, centros formativos, etc. que vêm num movimento educacional crescente em vista de contribuir para uma popularização dessa ciência. Nesta publicação eles discutem não só aspectos históricos sobre a evolução do ensino de astronomia no Brasil, como também sobre os principais meios utilizados na formação científica escolar da área.

Entre os vários aspectos discutidos nesse trabalho, aquele que mais nos interessa diz respeito aos ambientes de aprendizagem utilizados no ensino dos saberes astronômicos, espaços ou lugares presentes no âmbito da “educação formal, informal e não formal” que se conjugam, relacionam-se a fim de favorecer uma visão mais ampla e abrangente da educação em astronomia. Embora não haja um consenso entre os pesquisadores e demais especialistas no ensino de ciências quanto ao significado desses termos, conforme identificam em Marandino *et al.* (2004), Langui & Nardi (2009) apresentam o que tem sido usualmente aceito entre esses profissionais.

Por “educação formal” considera-se toda e qualquer prática educacional desenvolvida em escolas, colégios ou demais estabelecimentos que possuam uma estrutura bem definida, um planejamento adequado e sistematizado a fim de promover atividades de ensino. Sua implantação está atrelada a “elevados graus de intencionalidade e institucionalidade” e sua “obrigatoriedade garantida por lei” (2009, p. 4402-2). Nesse sentido pode-se pensar na sala de aula e nos seus laboratórios como tipos de ambientes de aprendizagem mais usual presente na educação formal em astronomia.

Atualmente, segundo os autores, a disciplina de astronomia tem sido uma disciplina opcional tanto em cursos de ensino superior, na graduação em física, quanto em cursos do ensino básico, no ensino fundamental nas disciplinas de ciências e geografia e no ensino médio na disciplina de física. Em outros casos, seu ensino é desenvolvido em cursos de formação de professores em ciências. Por não ser uma disciplina específica de nenhum dos

cursos mencionados, o ensino de astronomia tem apresentado dificuldades a quem a ele se dedica, principalmente no que tange à falta de material específico especializado, à falta de formação específica de professores como também no que diz respeito à utilização da sala de aula como único ambiente de aprendizagem disponível. Apesar de todas estas dificuldades, a leitura da literatura especializada em ensino de astronomia parece indicar que existe um esforço crescente entre os pesquisadores da área para melhorar esse quadro.

Por “educação não formal”, entende-se toda e qualquer prática educativa fora do âmbito escolar. A educação não formal é caracterizada por não obedecer a nenhuma lei obrigatória e por isso os indivíduos que dela participam estariam livres para escolher os métodos e os conteúdos que desejam aprender. Nesse sentido, de acordo com os autores, os ambientes de aprendizagem que fazem parte da educação não formal em astronomia são os museus de astronomia, as feiras de astronomia, os planetários, os clubes de astronomia, etc. locais não necessariamente livres de intencionalidade ou sistematização, mas, sobretudo independentes da educação formal.

Por “educação informal”, entende-se toda e qualquer forma de educação livre, cotidiana, resultante da relação ou vivência entre as pessoas; ela “não possui intencionalidade e tampouco é institucionalizada, pois é decorrente de momentos não organizados e espontâneos do dia-a-dia durante a interação com familiares, amigos e conversas ocasionais” (2009, p. 4402-3). Em astronomia, os ambientes de aprendizagem da educação informal vão além do espaço físico, vão além da sala de aula, do planetário e dos museus de astronomia; eles ocorrem em situações diversas tais como naqueles “momentos de convívio durante uma observação casual do céu estrelado, uma visita a um colega que possua um telescópio, ou a um clube de astronomia amadora, com fins apenas ‘*hobbysticos*’[...]” (idem). Neste local ocorre, geralmente, o que se denomina de “aprendizagem implícita” ou “acidental”, uma forma de aprendizagem cotidiana, “produzida sem ensino e inclusive sem consciência de se estar aprendendo” (POZO, 2002, p. 56).

De acordo com Langui & Nardi (2009), ainda são poucos os trabalhos no ensino de astronomia que levam em consideração a educação formal, não formal e informal conjuntamente. Geralmente, encontram-se trabalhos isolados e limitados a uma ou outra forma de educação, a uma ou outra forma de ambiente de aprendizagem, favorecendo mais a uma divulgação, disseminação ou difusão do que uma popularização da astronomia, um termo mais adequado do que os outros por levar em consideração as concepções prévias dos envolvidos.

Para Gouvêa, o uso do termo *popularização* parece ser mais apropriado quando se leva em conta as concepções do público alvo ao se realizar uma transposição didática de saberes científicos, tornando esse termo, portanto, mais amplo que o uso de *divulgação, disseminação ou difusão*, os quais parecem denotar uma via de mão única, partindo dos cientistas e atingindo o povo, sem consulta prévia (LANGHI & NARDI, 2009 p. 4402-1).

Nesse sentido, os autores entendem que, para que haja uma “popularização” da astronomia, bem mais do que uma “pulverização” (referindo-se nesse caso ao ensino da astronomia de maneira “difusa ou dispersa” (2005, p. 4402-3)), é necessário que tanto os profissionais astrônomos, físicos, quanto profissionais amadores se unam na troca de experiências, procurando aproveitar as pesquisas já desenvolvidas, os problemas e soluções até então encontrados.

Esta união de esforços sugere um favorável reencontro, e um o olhar para os objetos astronômicos de diferentes lugares, espaços: ambientes não formais e informais de aprendizagem de modo a torná-los ambientes formais, isto é, ambientes com uma intencionalidade bem definida favorecendo o desenvolvimento de uma “aprendizagem explícita”³⁰, possível de ser avaliada e não simplesmente utilizados como locais destinados apenas para diversão ou outra forma de uso que não o próprio ensino.

Em nossa investigação, os ambientes formais e não formais de aprendizagem, segundo a terminologia exposta, são utilizados de forma conjunta e constituem a base do nosso processo de estudo com o grupo de estudantes já mencionado. O ambiente caracteriza o local, o espaço, o meio utilizado para que o uso de objetos-modelo didáticos em atividades de modelização possa viabilizar o processo da transposição didática interna, ou seja, permitam a passagem de alguns elementos do saber sábio, colocados sob a forma de um saber a ensinar em saber ensinado, transformando-o possivelmente em um saber aprendido. Passamos inicialmente pela sala de aula (ambiente formal de aprendizagem) indo ao encontro do museu de ciências onde se encontra o planetário (ambiente não formal de aprendizagem, porém utilizado como um ambiente formal), depois ao laboratório de física (ambiente formal de aprendizagem) e por fim voltamos à sala de aula³¹. Depois, no capítulo 4, apresentaremos as

³⁰ De acordo com Pozo (2002) a aprendizagem explícita é “produto de uma atividade deliberada e consciente, que costuma se originar em atividades socialmente organizadas, que de modo mais genérico podemos denominar ensino” (p.56-7). A aprendizagem explícita se distingue da aprendizagem implícita, pois, existe uma intencionalidade bem definida de um alguém (por ex: professor) que se propõem a ensinar a outros uma determinada noção, conceito, fato, conteúdo.

³¹ Tínhamos programado também uma atividade em um ambiente informal de aprendizagem, onde os alunos seriam convidados a analisar o movimento da sombra solar de objetos encontrados no pátio da escola; realizar

características de como foi organizado cada ambiente de aprendizagem com seus respectivos objetos-modelo.

Com efeito, o que caracteriza um ambiente de aprendizagem, tanto formal ou não formal, utilizado de forma sistemática e intencional (organizado e adaptado para fins de ensino em busca de possíveis aprendizagens) não é apenas o local em si, embora sejam cenários construídos ou elaborados sobre um espaço físico permitindo a utilização de objetos-modelo didáticos, além de outros recursos. Estes espaços também se caracterizam por serem espaços sociais, locais onde os alunos possam interagir, trocar informações e buscar soluções para seus questionamentos (SOARES & VALENTINI, 2005).

De acordo com Peters (2003 *apud* Coutinho, 2006, p. 39) a criação do conceito “ambiente de aprendizagem” se deu com o intuito de romper com as atividades baseadas unicamente na instrução do professor. Neste sentido, ambientes de aprendizagem são lugares em que os sujeitos deixam de ser considerados apenas como receptores de informações e passam a serem produtores delas. Nestes ambientes os alunos também interagem com outros alunos em torno de um determinado objeto do saber, podendo desenvolver e alterar suas estruturas cognitivas.

Um ambiente de aprendizagem passa a ser visto então não mais como um cenário puramente de instrução, onde o professor é o único que ensina, ou o único responsável pela aprendizagem dos estudantes, é mais um lugar onde os estudantes produzem suas informações, interagem com seus pares, e possivelmente aprendem uns com os outros. Um cenário onde as perguntas, as inquietações, as dúvidas e a introspecção passam a ter um espaço privilegiado. Portanto, o que há de mais relevante em ambientes de aprendizagem não são apenas os objetos físicos e as tarefas propostas, mas sim, o que é feito a partir deles e com eles, os significados encontrados, os sentidos atribuídos e as relações que se estabelecem entre esses objetos e tarefas por parte dos estudantes. Nesse sentido pode-se dizer que os ambientes de aprendizagem se tornam cenários típicos das práticas construtivistas.

3.1.1 O ensino em processo interativo: representações teatrais e representações diplomáticas

A fim de permitir que os alunos interagissem com os objetos-modelo didáticos, com os outros alunos e com o pesquisador durante as atividades de modelização, em seus diferentes ambientes de aprendizagem, seguimos um método de ensino que pode ser mais bem entendido sobre “uma dupla metáfora: a da representação teatral e a da representação diplomática” (LE MOIGNE, 1977, p.88)³².

A representação teatral, pensando em atividades de ensino de modelização em uma sala de aula, em um laboratório de física e em um planetário inflável, numa situação em que estão envolvidos alunos e professor-pesquisador, pode ser entendida como aquela pela qual se faz necessária a ação de ensinar desse último aos primeiros. Cabe a ele (professor-pesquisador) expor “[...] perante o espectador [aluno], sob uma forma concreta, uma situação significativa” (1977, p. 88).

Porém, os papéis entre atores e espectadores são algumas vezes intercambiáveis; a representação teatral “[...] é uma ação que representa uma ação à intenção de alguns terceiros incluídos [professor-pesquisador, alunos e objetos-modelo] nesta ação: o espectador [o aluno, também] é intencionalmente ativo, frequentemente ator, na representação ela mesma intencional [...]” (LE MOIGNE, 1987, p. 6. Tradução nossa).

A ideia de representação teatral pode dar a pensar, erroneamente, que o *ator está a todo o momento no palco, representando e os espectadores a todo o momento na platéia, assistindo*. Mas a ideia é outra! Nada impede que um professor-pesquisador-ator desça e vá assistir, na platéia, a um espectador-aluno que subiu para o palco e agora é ator! É mais ou menos essa a ideia da representação teatral quando se elabora um ambiente de aprendizagem no qual os alunos, em determinadas situações, interagem com os outros alunos e com o professor ao colocarem os seus pontos de vista sobre o que estão pensando, estudando, investigando. O teatro continua a existir, o que há frequentemente é uma alternância entre atores e espectadores, entre professor e alunos, e vice-versa.

³² De acordo com Le Moigne (1977, p. 88; 1987 p. 5-6), o conceito de representação teatral e de representação diplomática, um conceito que toma emprestado de um artigo intitulado *Representação e Conhecimento* de J. Ladrière, em sua bivalência etimológica, coloca muito bem as duas metodologias da modelização: uma sistêmica e outra anatômica, ou seja, a metodologia do *conhecimento-projeto* em que conhecer algo (fato ou coisa) torna-se sinônimo de *conceber*, *modelizar* ou *representar* e logo a realidade é fruto de uma invenção; e a metodologia do *conhecimento-objeto* em que conhecer algo se torna sinônimo de *analisar* e logo a realidade é fruto de uma descoberta. Em epistemologia, segundo o autor, essas duas metodologias da modelização ou essas duas formas de representação se encontram frequentemente imbricadas.

Os alunos, ao esporem seus pontos de vista, também se tornam atores. Porém não se percebem necessariamente como atores, eles são parte integrante do ‘jogo’ que ocorre entre os papéis representados (LE MOIGNE, 1987). Esse jogo inclui a elaboração de modelos mentais por parte dos próprios alunos³³. E muitas vezes esses modelos mentais não são necessariamente os que o professor espera. Podem ser variantes, podem ser modelos completamente novos, podem ser os próprios modelos esperados. Todavia, o que se deve levar em consideração em uma representação teatral, entendida como a representação de uma ação, é que há uma intenção explícita do professor em ensinar algo aos seus alunos, assim ele pode ser mais frequentemente considerado ator e os alunos espectadores.

A representação diplomática, entendida como uma representação que representa uma ação envolvendo alunos e professor-pesquisador em uma atividade de ensino, é aquela pela qual os alunos interagem na atividade, manipulam os objetos-modelo didáticos em estudo, elaboram-no, analisam-no, operam-no, enfim, buscam compreender o seu objeto de estudo e a sua significação. Porém, diferentemente da representação teatral, em que todos frequentemente intercambiam os papéis, a representação diplomática é uma “[...] espécie de transferência de atribuição em virtude da qual uma pessoa [um aluno] pode agir em vez, e no lugar, de outrem [do professor-pesquisador]” (LE MOIGNE, 1987, p. 6). Nesse sentido a representação diplomática por um momento “[...] exclui o representante [professor-pesquisador], terceiro presumido transparente entre o objeto (de conhecimento) a representar [o objeto-modelo didático] e o receptor [o aluno] o qual deveria encontrar no modelo nada além da duplicata fiel do objeto re-apresentado [...]” (idem).

Na representação diplomática, os papéis estão mais definidos, o professor, em algum momento, sai de cena por um instante e delega aos alunos a análise do objeto-modelo didático, permite a sua operação e sua manipulação para que possam tomar posse dos seus elementos constituintes. Desse modo, o aluno é num certo sentido passivo, e é assim levado a redescobrir uma realidade pré-existente. Ele precisa apropriar-se do objeto-modelo e das ideias nele presentes para possivelmente apreendê-las. E o aluno aprende por si mesmo – desde que aprenda o que se espera que ele aprenda. Porém, o aluno não é colocado durante todo o momento a analisar, dissecar o objeto do saber em estudo, frequentemente ele pode vir a se tornar ator ou ser convidado a expor o seu próprio ponto de vista.

³³ Modelos mentais ou representações mentais na visão da ciência cognitiva são “[...] maneiras de ‘re-presentar’ internamente o mundo externo. As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais (quer dizer, internas) dele” (MOREIRA, 1996, p. 193).

Assim, enquanto imerso na representação teatral, o aluno é convidado a frequentemente expor o seu ponto de vista sobre algo que a princípio não existe totalmente para ele, e se existe, é apenas numa forma parcial³⁴; o aluno é convidado a “conceber, representar ou modelizar”, sobretudo, a inventar a realidade (isto é, procurar por alguma coisa que não existe, pelo menos para ele mesmo e, no entanto, pode chegar a encontrar)³⁵. Mais do que chegar a um objeto-modelo pré-existente a ideia é levar o aluno a, ele mesmo, representar o seu entendimento sobre a coisa, o fato, o fenômeno em estudo. E ele só faz isso no momento que assume sua condição de ator, assume um papel ativo na ação. Na representação diplomática o aluno é colocado a analisar o objeto-modelo didático, o objeto do saber pré-existente, a operar com ele e a sintetizar, a retirar para si mesmo, o seu significado. O aluno é então levado a re-descobrir a realidade. A descobrir o já existente, o que já estava lá, o que já foi um dia descoberto pelos cientistas.

Estas duas formas de ação que procuramos concretizar ao conduzir o ensino de alguns aspectos do saber astronômico em ambientes formais e não formais de aprendizagem, ora como representação teatral, ora como representação diplomática estiveram na maior parte do tempo interligadas.

Mas voltemos a um ponto anterior e coloquemo-nos um questionamento necessário: Por que utilizar diferentes ambientes de aprendizagem dotados de diversos recursos instrumentais (objetos-modelo didáticos) para estudar um mesmo conjunto de fenômenos? Ou melhor, por que utilizar diferentes ambientes de aprendizagem e uma pluralidade de objetos-modelo didáticos para compreender, por exemplo, o movimento aparente do Sol, as diferentes posições de seu nascimento, o tempo em que permanece acima do horizonte em qualquer região do planeta? Poderíamos partir simplesmente do modelo do MAS previamente construído, explicando o significado de cada uma de suas partes e realizando algumas manipulações e previsões. Desconsiderando o processo de estudo, a aula simplesmente “estaria dada”!

³⁴ Algumas pesquisas (BARRABÍN, 1995; BISCH, 1998; LEITE, 2002, entre outros) têm demonstrado que um certo número de estudantes apresentam concepções prévias a respeito do Universo e do Sistema Solar. Uma das concepções mais comuns está ligada à causa das estações do ano, a qual aparece frequentemente entre crianças, adolescentes e até professores de ciências do nível fundamental. Em algumas dessas concepções a Terra orbita em torno do Sol em uma trajetória elíptica, o que poderia implicar na possível aceitação do modelo heliocêntrico para o sistema solar; porém, consideram que a causa principal das estações do ano está relacionada à maior e menor aproximação da Terra ao Sol e não à inclinação do eixo imaginário de rotação da Terra, o que seria correto. Portanto, a causa das estações do ano é desconhecida para alguns desses alunos e professores.

³⁵ Conceber, representar ou modelizar são termos sinônimos utilizados por Le Moigne (1977) para fazer alusão ao construtor de modelos, o modelizador.

Certamente essa não seria uma atividade interessante já que os estudantes passariam a maior parte do tempo tendo que escutar as explicações do professor a respeito de noções e conceitos com os quais nem sequer tinham pensado antes, além de ter que observar e manipular objetos que não significam, em princípio, absolutamente nada para eles.

Ao pensarmos em ensinar um determinado objeto do saber, como é o caso dos fenômenos naturais descritos acima, certamente teríamos inúmeras dificuldades se optássemos apenas pela utilização da sala de aula como único cenário e seus poucos recursos ferramentais para a aprendizagem desses conhecimentos. Certamente os alunos teriam muitas dificuldades em compreender o que é um movimento aparente (voltaremos a este ponto a seguir) apenas observando um desenho no quadro negro ou através da utilização de desenhos em folhas de papel, lâminas de retro-projetor, ou mesmo animações em computador.

Talvez a utilização de diferentes ambientes de aprendizagem como a sala de aula, seus laboratórios de pesquisa (ambientes formais de aprendizagem), museus de ciências onde se encontram os planetários infláveis (ambiente não formal aprendizagem) e seus objetos-modelo didáticos poderia facilitar a transposição didática desses fenômenos físicos naturais e nos fornecer bons indícios sobre a aprendizagem dos estudantes.

O que estamos levando em consideração em nossa investigação não são apenas os significados das noções ou conceitos que estamos tentando ensinar aos nossos alunos, mas, sobretudo, o que eles compreendem ou não daquilo que estamos tentando lhes ensinar. Quais as suas concepções prévias a esse respeito? Qual a percepção que possuem dessas noções ou conceitos, o que certamente é uma forma de exercermos uma vigilância epistemológica sobre a complexidade do saber que estamos tentando socializar. Como já discutimos anteriormente,

Para o professor, [a transposição didática] é um instrumento que permite repensar, tomar distância, interrogar as evidências, por em questão as idéias simples, desprender-se da enganosa familiaridade de seu objeto de estudo. Em uma palavra, o que lhe permite exercer sua vigilância epistemológica. (CHEVALLARD, 2005, p. 16. Tradução nossa).

No mesmo sentido e, voltando à pergunta que foi posta anteriormente: por que utilizar diferentes ambientes de aprendizagem, dotados dos mais diversos recursos instrumentais (objetos-modelo didáticos) para estudar um mesmo conjunto de fenômenos? Um bom motivo nos é dado por Alan F. Chalmers (1993, p. 46-55) quando sustenta que, embora um grupo de pessoas colocadas frente a um mesmo objeto possam observar a mesma forma, conteúdo e disposição de seus elementos, nunca terão a mesma percepção do objeto observado. Geralmente, observa-se a mesma coisa, pois, as imagens formadas sobre as retinas dos

observadores são as mesmas (considerando um olho normal, é claro!), mas a percepção destas imagens é sempre subjetiva. Ela depende das experiências dos observadores e das representações e conhecimentos prévios já existentes ou não em suas cabeças.

Essas considerações nos levam, inevitavelmente, à seguinte imposição: ao construirmos o modelo do MAS - um objeto tridimensional, confeccionado com um CD (representando o plano do horizonte do observador) e uma faixa de transparência onde hipoteticamente o Sol realiza o seu movimento aparentemente na esfera celeste – precisamos estar vigilantes para alguns elementos importantes que se configuram nessa representação, ou melhor, para alguns conceitos e definições que estão sendo representados por estes objetos aparentemente simples.

A esfera celeste, “esfera imaginária de raio infinito, descrita em torno de um centro imaginário, e sobre a qual supostas posições de astros se projetam ao longo dos raios, passando pelos corpos celestes” (OLIVEIRA, 1993, p. 101) é uma representação que só existe no imaginário de certos grupos de pessoas (de alguns professores, por exemplo), algo abstrato que não é visto todo o dia, como um carro ou uma casa. Compreender o significado e a função da esfera celeste apenas lendo a definição apresentada acima, certamente seria algo bastante difícil. E o que dizer ainda do plano do horizonte, “plano tangente à Terra e perpendicular à vertical do lugar (zênite) em que se encontra o observador”? (A vertical do lugar é definida por um fio a prumo. Considera-se que o plano do horizonte intercepta a esfera celeste em um círculo máximo) (OLIVERIA FILHO E SARAIVA, 2000. p.10).

Conhecer o movimento aparente do Sol numa dada região seria necessário para pensarmos inicialmente, nas diferentes posições em que esse astro celeste cruza o céu e nas diferentes direções de seu nascimento, ao longo do ano. Então, para imaginar, observar e talvez compreender que esse movimento aparente se deve ao movimento de rotação e translação realizada pela Terra em torno Sol e não o contrário, seriam necessárias – no mínimo – todas essas noções. É, portanto, imprescindível estar vigilante: o movimento do Sol, tal como visto da terra, não é simples de entender, e não é diretamente dedutível de certo número de observações, feitas de um determinado local.

As distinções entre “movimento verdadeiro” e “movimento aparente” foram feitas por Isaac Newton em sua obra: “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural e o Sistema do Mundo” em 1687. Como a Terra e o Sol estão em movimento no espaço, existe um movimento relativo entre eles, materializado pela atuação de forças gravitacionais. O movimento aparente do Sol é então fruto do movimento realizado pela Terra (movimento verdadeiro) em torno do Sol (movimento aparente). Newton “generalizou a ideia de

movimento aparente – que é o movimento em relação à Terra – como a noção de um movimento de um corpo em relação a outro”. (VAN FRAASSEN, 2007, p 89-90).

É dessa forma que, devido ao movimento de rotação da Terra que se dá de oeste para leste, conjugado com o movimento de translação em torno do Sol, vê-se uma trajetória anual do Sol no céu que se dá em sentido oposto, de leste para oeste.

A insistência na utilização de diferentes ambientes de aprendizagem (formal e não formal) e de diversos objetos-modelo didáticos como instrumentos de auxílio ao estudo de algumas noções e conceitos fundamentais necessários à construção do modelo do MAS, algumas vezes retomadas, revistas e exploradas sobre diferentes enfoques, foi especialmente pensada para proporcionar aos alunos a possibilidades de desenvolver diferentes percepções sobre os fenômenos naturais em investigação. O que também foi uma forma que encontramos para deixá-los vigilantes sobre o seu objeto de estudo. Porém, estes não foram os únicos motivos, há um motivo que está implícito nos outros que apresentamos até agora e que a partir desse momento precisamos explicitar; refere-se à diversificação das atividades nos diferentes ambientes de aprendizagem, a qual poderá favorecer a ativação dos “[...]diferentes processos auxiliares da aprendizagem, como a recuperação e a transferência”. (POZO, 1999, p. 151).

A recuperação e a transferência são processos que podem auxiliar na aprendizagem de uma determinada noção, fato, objeto, conceito, fenômeno que estamos procurando conhecer. De acordo com Pozo (1999, p. 151) “Como se fosse uma investigação arqueológica, recuperar é, uma vez mais, reconstruir nossos conhecimentos a partir das peças ou vestígios que podemos achar” em nossa memória ou em determinado contexto de ensino. O processo de recuperação ocorre quando tentamos “reconhecer” ou “lembrar” de algo que já aprendemos ou nos foi ensinado em algum momento. Assim, uma das maneiras de ajudar os alunos a reconhecerem ou lembrarem-se de uma informação já estudada anteriormente “[...] é planejar o contexto de aprendizagem dessa informação com o fim explícito de facilitar a sua recuperação” (1999, p. 153).

O processo da transferência é aquele pelo qual tentamos aplicar a informação recuperada em um novo contexto ao qual o seu reconhecimento apareça como necessário. De acordo com o autor, sempre aprendemos alguma coisa, mas nem sempre conseguimos transferir o que aprendemos para uma nova situação. Mesmo assim, para que a recuperação e a transferência das informações ou aprendizagens possam acontecer em um determinado contexto, existem pelo menos duas condições essenciais: a diversificação das “[...] tarefas e os cenários de aprendizagem para um mesmo conteúdo” (1999, p. 270-271), e o planejamento

das “[...] situações de aprendizagem em função dos contextos e tarefas em que os aprendizes devam recuperar o que foi aprendido” (idem). Agindo dessa maneira, o professor estará contribuindo para que seus alunos desenvolvam uma aprendizagem mais significativa daquilo que estão estudando.

Contudo, o trabalho realizado com os estudantes através da utilização de diferentes ambientes de aprendizagem convergindo para a exploração, elaboração e confecção de objetos-modelo didáticos, deve ser visto apenas como um meio para levá-los a conhecer e compreender alguns aspectos do movimento aparente do Sol, da duração aproximada do dia claro em qualquer região do planeta, das diferentes posições do nascimento do Sol ao longo do ano, entre outras. O que realmente poderá fazer a diferença são as relações que esses virão ou não a estabelecer através da disposição desses diferentes cenários uma vez que o fundamental não é o local em si, mas o que ocorre nesse cenário e como isso é significado pelos interagentes (SOARES, 2008).

3.2 CONCEPÇÕES PRÉVIAS NO ENSINO DE ASTRONOMIA

Sem dúvida os mistérios do Universo têm sido há muito tempo uma das principais fontes de indagação do ser humano. O ciclo do dia e da noite, as fases da lua, as estações do ano, o nascimento do Sol, entre outros, para muitos são objeto de fascínio e curiosidade. As interrogações sobre esses fenômenos naturais parecem começar na infância, quando nos lançamos a buscar as primeiras explicações para esses acontecimentos. Através de uma simples observação do céu, de uma conversa com nossos familiares e até mesmo por meio da imaginação damos início à construção de nossas ideias sobre a realidade desses objetos. Criamos ou construímos ideias sobre o formato da Terra, sobre as fases da lua, sobre o movimento dos astros, concepções que nos parecem, pelo menos por algum tempo, perfeitamente convincentes e válidas. Entretanto, embora suficientes para satisfazer uma curiosidade imediata, nossas concepções geralmente acabam por entrar em desacordo com as concepções produzidas pela ciência. É na escola que geralmente as nossas ideias entram em conflito com as ideias da ciência e é nela que temos a possibilidade de alterá-las, reconstruí-las e resignificá-las, se bem que em certos casos até mantê-las inalteradas (BISCH, 1998).

Segundo Scarinci & Pacca (2006), desde o momento em que as crianças passam a ter um primeiro contato com as ciências, mais especificamente com a astronomia, as suas ideias já lhes permitem realizar explicações sobre os mais diversos fenômenos naturais. São porém,

explicações que, na grande maioria dos casos, se encontram impregnadas pelo senso comum, diferindo em muito das explicações científicas. De acordo com Teodoro (2000 *apud* Langhi, 2004. p.1), os termos conceitos intuitivos, concepções espontâneas, concepções prévias, pré-conceitos, ideias do senso comum, concepções alternativas “[...] [constituem um rol de] [...] termos usados pelos pesquisadores no ensino de Ciências para fazer referência às ideias previamente concebida pelos alunos e que são posteriormente trazidas para a sala de aula”.

Segundo Teodoro (2000), interpretando Coll *et. al* (1998), as concepções alternativas, de modo geral, são entendidas como ideias:

- a) oriundas da própria interação dos indivíduos com o mundo;
- b) que se encontram na maioria dos casos mais próximas do senso comum do que do conhecimento científico;
- c) muitas vezes são inalteráveis e de difícil mudança;
- d) geralmente detectadas em pesquisas de ensino de ciências através de questionários, entrevistas, relatos, desenhos, etc.;
- e) podem ser classificadas em diferentes categorias;
- f) que em sua grande maioria são de caráter utilitarista sem uma preocupação com a busca pela verdade.

Em uma pesquisa sobre concepções prévias em astronomia, realizada por Lima, Trevisan & Lattari (2005. p. 2) consta que:

Nas últimas duas décadas, surgiu uma extensa literatura indicando que as crianças chegam para as aulas de ciências com concepções prévias, que podem diferir substancialmente das idéias a serem ensinadas, e que estas concepções influenciam na aprendizagem futura, podendo ser resistentes a mudanças.

Para Villani (1989) é natural que as crianças apresentem ideias espontâneas sobre os objetos da ciência durante o ensino, uma vez que suas concepções começam a se desenvolver muito antes da escola, têm início no próprio processo espontâneo de interação com o mundo físico. E essas ideias ao longo do tempo escolar podem se modificar e até evoluir para ideias mais abrangentes, apesar de que, “existem sempre aspectos dessas idéias iniciais, que não são modificados apesar de não serem totalmente compatíveis com o restante dos conhecimentos adquiridos” (p.134).

Para Franco (1998), as concepções prévias que as crianças possuem em relação aos temas tratados pela astronomia fazem parte da sua própria experiência cotidiana. Por isso muitas vezes é compreensível que as crianças tenham uma concepção de Terra plana e não de Terra esférica, já que elas se percebem cotidianamente vivendo sobre um plano e não sobre

uma esfera. Mas essas ideias precisam ser modificadas. “O aprendizado das ciências implica, portanto, a troca de concepções fortemente enraizadas na vivência dos alunos”. (p. 17). Para favorecer essa mudança é importante propiciar condições para que os alunos consigam confrontar as suas próprias concepções com as concepções científicas, dando-lhes oportunidade de perceber as falhas e os limites do seu conhecimento. “É a partir da compreensão das limitações de suas concepções prévias sobre os temas científicos que os alunos estarão preparados para considerar o potencial das idéias apresentadas nas teorias científicas” (idem).

Para Lima, Trevisan & Lattari (2005) as concepções alternativas são ideias que dificultam a aprendizagem dos objetos da ciência, especialmente aqueles objetos da astronomia; “no ensino de ciências, as concepções [alternativas] são uma forma de conhecimento como outra [qualquer], funcionando como uma interpretação [muitas vezes] coerente dos fenômenos científicos, [porém em muitas outras vezes se encontram] diferindo da explicação aceita pela ciência” (p.3) Os autores defendem, portanto, que no ensino de astronomia é necessário buscar mecanismos, instrumentos que possibilitem a transformação das concepções alternativas, para poder aproximá-las das concepções científicas.

De acordo com Scarinci & Pacca (2005) em um dos seus trabalhos realizado com crianças das séries iniciais do ensino fundamental, identificaram que muitas delas apesar de acreditarem que a Terra é esférica não se imaginavam sobre a superfície da mesma. Isso passa a ser um pouco mais preocupante na medida em que essas ideias deixam de ser discutidas ou confrontadas durante a vida escolar dos alunos e muitas vezes acabam sendo ensinadas pelos próprios professores de ciências. Este é um exemplo que Queiroz (1987 *apud* Pinto & Fonseca 2007, p. 73) retira de um curso de formação continuada para professores desse segmento do ensino. Segundo o autor, alguns professores durante o curso mostravam-se “chocados ao se darem conta de que vivem na superfície da Terra”, além disso, existia uma certa convicção entre eles de que “[...] a ocorrência das estações do ano eram causadas por uma maior ou menor aproximação entre a Terra e o Sol, uma vez que a órbita é elíptica”.

Muitos pesquisadores do ensino da astronomia têm atribuído a permanência das concepções prévias entre professores e alunos do ensino fundamental à falta de material didático específico e atualizado. Parece ser de consenso entre esses pesquisadores a ideia de que os livros didáticos de ciências e geografia, na maioria dos casos o único material disponível e utilizado, mesmo depois de reformulações promovidas pelo Ministério da Educação (MEC) ainda continuam apresentando problemas conceituais em seu conteúdo. A falta de uma política pública de formação de professores na área, a falta de metodologias

adequadas para se trabalhar com os objetos do saber astronômico, também são outros motivos importantes (LANGHI & NARDI, 2007)³⁶.

Nesse subcapítulo, vamos apresentar, algumas concepções prévias de alunos e professores levantadas por Barrabín (1995), Bisch (1998) e Leite (2002), mais precisamente de questões que tratam sobre os pontos cardeais; as estações do ano e a alternância entre o dia e a noite; pois elas constituem uma parcela dos assuntos por nós investigados no decorrer da pesquisa. Os dados encontrados serviram como fonte de comparação com as concepções prévias dos onze alunos do último ano do ensino médio por nós recolhidas, que serão apresentadas no quarto capítulo. Não nos deteremos em apresentar a maioria das concepções prévias presentes na literatura astronômica da área, apenas aquelas que nos parecem pertinentes à investigação³⁷. Não encontramos na literatura analisada muitos estudos sobre concepções prévias de alunos do ensino médio, em sua grande maioria os estudos realizados foram com alunos das séries iniciais e finais do ensino fundamental e em cursos de formação continuada com professores desse mesmo nível de ensino.

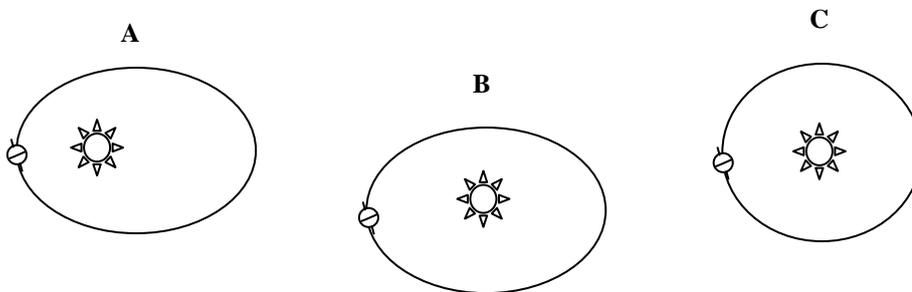
Barrabín (1995) estudou as concepções prévias de 900 alunos espanhóis entre 12-18 anos atingindo diversas instituições em cursos do nível primário, nível secundário (semelhante ao nível fundamental e médio aqui no Brasil) e de 50 futuros professores do curso de magistério a respeito do “modelo Sol-Terra”, mais especificamente sobre o “modelo de órbita terrestre” e sobre as causas das estações do ano, “verão e o inverno” (p. 288. Tradução nossa). Ele investigou inúmeras explicações e representações (desenhos) realizadas por estes estudantes que foram recolhidas por meio de questionários e entrevistas. A fim de fornecer elementos que pudessem reestruturar as concepções dos estudantes após a verificação de inúmeras inconsistências em suas repostas a três perguntas básicas, elaborou uma atividade experimental com modelos tridimensionais.

A primeira pergunta (fechada) pedia que os alunos identificassem quais desenhos (A, B ou C) melhor representavam a trajetória da Terra em torno do Sol ao longo do ano. O desenho relativo à letra A, representava a Terra em uma trajetória elíptica em torno do Sol, que por sua vez, ocupava um dos focos dessa elipse; o desenho relativo à letra B representava

³⁶ Trata-se de um estudo muito interessante publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, onde Langhi & Nardi (2007, p. 87-111) recolhem e sistematizam inúmeras contribuições de outros autores a respeito dos erros conceituais em astronomia mais comuns presentes em livros didáticos de geografia e ciências.

³⁷ Um apanhado de bibliografias importantes que tratam sobre concepções prévias no ensino de astronomia pode ser encontrado na Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia (online) no artigo: “Dificuldades interpretadas nos discursos de professores dos anos iniciais do ensino fundamental em relação ao ensino de astronomia”, de LANGHI & NARDI, n. 2, 2005. Disponível em: <http://www.relea.ufscar.br/>

novamente a Terra em uma trajetória elíptica, porém o Sol ocupando agora o centro dessa elipse e, o desenho relativo à letra C, representava a Terra em uma trajetória circular com o Sol no centro desse círculo.



Representações do modelo Sol-Terra de Barrabín. A pergunta feita pelo autor aos alunos foi: *Qual desses três desenhos mais se aproxima da trajetória da Terra em volta do Sol?* (Adaptado de Barrabín, 1995, p. 229).

Todas as letras foram marcadas pelos alunos, porém, a letra A e B foram a que apareceram com maior frequência, denotando uma concepção geral de órbita terrestre muito excêntrica (alongada). Os poucos alunos que marcaram a letra C (resposta mais adequada) denotando a concepção de uma órbita circular, encontravam-se na faixa etária dos 15-18 anos. Aqueles que marcaram a letra B encontravam-se na faixa etária dos 13-14 anos, os que marcaram a letra A, de faixa etária menor que as demais.

Apesar de ter oferecido aos alunos uma concepção de modelo heliocêntrico no seu modelo Sol-Terra (em A, B e C), Barrabín (1995) concluiu durante o desenvolvimento de sua pesquisa que muitos alunos, frequentemente demonstravam possuir uma visão de modelo geocêntrico, isto é, a Terra ao centro do Sistema Solar com o Sol orbitando-a.

A segunda pergunta (aberta) solicitava aos alunos uma explicação de por que no verão fazia mais calor e no inverno mais frio. O autor dividiu as repostas em duas categorias:

1^a) Os estudantes que deram como causa a maior ou menor afastamento da Terra ao Sol (verão, mais perto; inverno, mais longe) conjugada ao movimento de translação (foi a resposta que apareceu com maior frequência, oscilando entre 60% e 80 % das respostas entre todas as faixas etárias);

2^a) Os estudantes que deram como causa apenas a distância ao Sol ou a distância ao Sol conjugada com a inclinação do eixo de rotação da terra:

a) Apenas a distância ao Sol (oscilou entre 55% e 75 % das respostas entre todas as faixas etárias);

- b) A distância ao Sol conjugada com a inclinação do eixo (oscilou entre 5% e 15%);
- c) Aqueles que deram uma resposta aceitável (oscilou entre 6,8 % e 22 %).

A terceira pergunta solicitava aos alunos uma explicação sobre a causa das estações do ano (verão e inverno). O autor fez a pergunta através do que denomina “situação problema”: “Na Austrália – hemisfério sul – muita gente celebra o ano novo se banhado na praia. Explique por que no hemisfério sul é verão quando no hemisfério norte – nosso – é inverno” (p. 229).

Entre as muitas respostas apresentadas pelos alunos, as que apareceram como maior frequência estava a de que a causa das estações do ano se dava devido:

- a) à maior proximidade da Terra ao Sol devido à inclinação do eixo (oscilou entre 9,4% e 30% das repostas entre todas as faixas etárias);
- b) No hemisfério Sul é verão porque a Terra está mais próxima do Sol (oscilou entre 1,4% e 9,6 %);
- c) Ocorre devido ao movimento de rotação da Terra (oscilou entre 17,1% e 24,6%);
- d) No hemisfério sul é sempre mais quente que no hemisfério norte (oscilou entre 1,3% e 10,4%)
- e) Resposta aceitável (oscilou entre 12% e 34,9%)

Segundo o autor, as respostas às perguntas 2 e 3 consideradas como aceitáveis para os seus respectivos acontecimentos foram aquelas que deram como causa a “inclinação do eixo de rotação da Terra ou o grau de incidência dos raios solares” (p. 231) e estiveram no intervalo de 6,8% a 22% e 12% a 34,9 %, respectivamente, demonstrando assim o pouco conhecimento desses fenômenos naturais pela grande maioria dos alunos e professores.

Barrabín (1995) considera que a maioria das concepções errôneas dos alunos e professores em relação à ocorrência do verão e do inverno em ambos os hemisférios, está ligada, na maioria dos casos, ao problema da perspectiva encontrada nos desenhos de modelo Sol-Terra representados no papel, na forma bidimensional. E defende a tese de que “Não é fácil relacionar a inclinação do eixo de rotação da Terra com a quantidade de radiação recebida por unidade de superfície” (p. 235).

Numa tentativa de superar esses problemas, o autor propôs uma atividade de simulação como esses alunos e professores, utilizando o modelo Sol-Terra de forma tridimensional. Assim, dando atenção ao uso da espacialidade ele diz ter substituído a representação do modelo Sol-Terra do papel (forma bidimensional) por um balão representando a Terra (na forma tridimensional), simulando o movimento de translação em torno do Sol, que por sua vez, foi representado por uma lâmpada emitindo os raios de luz.

Diversas questões foram tratadas nessa simulação, entre elas, a inclinação do eixo de rotação da Terra e a questão da distância Sol-Terra. Ao realizar essa atividade os autores perceberam mudanças significativas na aprendizagem dos seus alunos em relação às questões propostas, porém, ao aplicarem o mesmo questionário a grupos de alunos que já tinham participado dessa mesma atividade a um, dois ou até três anos atrás, constataram que algumas concepções errôneas ainda permaneciam.

Bisch (1998), à luz das ideias de Piaget a respeito do desenvolvimento do conhecimento na criança, desenvolveu um estudo apresentando pressupostos sobre o desenvolvimento do conhecimento astronômico (não analisaremos aqui este estudo com profundidade, apenas levantaremos alguns aspectos). Levando em consideração essa pesquisa, num primeiro momento o autor tenta estabelecer algumas relações entre as representações de alguns objetos do saber astronômico pelas crianças e pré-adolescentes (6-14 anos) e entre as representações desses mesmos objetos por parte de algumas professoras do ensino fundamental, agora num segundo momento, durante um curso de extensão de 80 horas (USP) denominado: “astronomia no 1º grau”³⁸. Alguns dos objetos escolhidos para representação foram o planeta Terra, o Sol, a Lua, as estrelas, o céu, o espaço, o universo e algumas relações entre eles no que diz respeito a formas, tamanhos, proporções e distâncias. Apenas entre as professoras, algumas questões mais complexas como a gravidade, movimentos do planeta terra, ciclo do dia e da noite, órbita da Terra, estações do ano, pontos cardeais, etc. foram investigadas e coletadas por meio de questionários, entrevistas, desenhos, experimentações, anotações em cadernos, anotações de falas e de gestos. O intuito do autor foi, inicialmente, compreender as concepções prévias dos seus alunos e professoras, para depois oferecer atividades que pudessem desestabilizá-las e transformá-las, buscando uma aproximação com as concepções científicas.

³⁸ Bisch (1998) utiliza o substantivo feminino “professoras” devido ao maior número de profissionais do sexo feminino participante de sua pesquisa. Entre os docentes envolvidos apenas um era do sexo masculino, por isso sua preferência pelo uso do termo professoras em vez de professores.

Durante a pesquisa, Bisch (1998) sustenta que a representação que as crianças elaboram do universo físico é por demais “realista ingênua” e infantil, isto é, as crianças atribuem a realidade dos objetos astronômicos à percepção imediata que deles tem, suas concepções encontram-se atreladas mais ao nível dos sentidos, do subjetivo. Porém quando as crianças são inseridas na cultura escolar, aos poucos tendem a representar esses objetos de forma mais objetiva e racional, uma vez que são submetidos a uma primeira desestruturação e possível reelaboração de sua forma de pensar sobre eles. Existem fases do desenvolvimento cognitivo da criança que precisam ser compreendidas e respeitadas, por isso o autor, aproveitando das contribuições de Piaget (1926, 1993), indica que a só por volta dos 8-9 anos as crianças conseguiriam desenvolver noções de espaço, ângulos, medidas, proporções e só em torno dos 9-10 anos conseguiriam relativizar seus pontos de vista, conseguindo, por exemplo, a partir dessa faixa etária, relacionar a visão geocêntrica com a visão heliocêntrica do Sistema Solar.

De acordo com Bisch (1998) um aspecto semelhante ocorre com as professoras de ciências do ensino fundamental. O modo ingênuo e particular de ver o Universo e o Sistema Solar é diferente daquele das crianças, embora em alguns casos tenha encontrado elementos em comum, seu modo de conceber os objetos do saber astronômico provém, na maioria dos casos, das representações presentes em livros didáticos de ciências e geografia. A diferença entre os alunos do ensino fundamental e suas professoras no que diz respeito à natureza da suas concepções, em alguns aspectos, parece estar no tempo e na forma de instrução escolar que têm ou tiveram. Enquanto os alunos começam a criar as suas concepções através da própria interação com o mundo físico e recriá-las ao longo do seu desenvolvimento cognitivo e dos níveis escolares de instrução, apresentando no início uma interpretação mais imediata, cotidiana e comum dos objetos astronômicos; as professoras por já possuírem um tempo maior de instrução e contato com esses objetos tendem a interpretá-los de uma forma mais conceitual. Entretanto o autor encontra pontos em comum entre ambas as concepções.

As crianças e os pré-adolescentes, por exemplo, tendem a representar o planeta Terra de cinco formas diferentes: Terra plana, Terra dupla, Terra oca, Terra esférica achatada e Terra esférica. Representações que vão de um polo mais ingênuo, infantil, de senso comum, tal como a representação de Terra plana (em forma de um disco), passando por níveis nocionais intermediários, como por exemplo, a de Terra dupla (uma Terra em que vivemos e outra no espaço) até chegar a um pólo mais conceitual, abstrato onde a representação ganha sua forma adquirida culturalmente, a forma de Terra esférica.

Já as professoras do ensino fundamental tendem a representar o planeta Terra, de modo geral, apenas nas duas últimas formas: Terra esférica achatada e Terra esférica. Estando mais próximas de um pólo conceitual, porém apresentando mesmo assim um entendimento de Terra com uma superfície plana, um conhecimento baseado em ideias errôneas de planeta Terra, muito presentes em livros didáticos.

Algumas relações entre as concepções das crianças, dos pré-adolescentes e das professoras do ensino fundamental podem ser observadas em algumas passagens:

Quanto às representações das crianças e pré-adolescentes:

No caso da Astronomia, o que irá ocorrer é que a criança jovem, realista ingênua, tenderá a representar para si o universo exatamente como o percebe: a Terra é plana, o céu é uma camada ou abóbada azul que está sempre no alto, acima de nossas cabeças, a direção vertical é absoluta, única, válida para todo o universo, o Sol e a Lua são discos luminosos, as estrelas são pequenas e com pontas, a Lua nos segue quando saímos a passear a noite, etc. (BISCH, 1998, p. 14).

Quanto às representações das professoras:

Em nossa análise do universo das professoras também vimos que uma articulação desta concepção realista ingênua, de que a direção vertical é única, com a padronização com que a representação gráfica da Terra é veiculada nos livros didáticos e na mídia em geral, parece conduzir à concepção de que a vertical é não apenas única, absoluta, como encontra-se orientada numa direção bem determinada com relação ao planeta Terra: sempre paralela ao eixo que passa pelos pólos, num sentido em que o norte está sempre em cima e, o sul, embaixo (BISCH, 1998, p.246).

Com relação ao problema dos desenhos (modelos bidimensionais) presentes nos livros didáticos, representações que influenciam na grande maioria dos casos as representações insuficientes das professoras, como por exemplo, fazendo-as desenhar a órbita terrestre com acentuada excentricidade, reforça o autor:

Assim as professoras imaginam as estações do ano como sendo provocadas pela maior ou menor aproximação de certas regiões da Terra ao Sol, pois interpretam os desenhos de sua órbita como indicando que ela de fato passa por pontos bem mais próximos e outros bem mais afastados do Sol e sabem, por experiência própria, que o aquecimento produzido por uma fonte de luz e calor depende da distância. (BISCH, 1998, p. 247).

A tese defendida por Bisch (1998) é de que entre as concepções das crianças e pré-adolescentes passando pelas professoras de ciências do ensino fundamental, existe uma espécie de “espectro de concepções” (p. 198) sobre os objetos da astronomia que vão desde um extremo, onde se encontram concepções mais subjetivas, ingênuas, de senso comum, isto

é, a realidade é vista tal como lhes é apresentada aos sentidos; passando por concepções intermediárias, oriundas dessa visão primeira em conflito com as concepções científicas; que por sua vez, encontra-se num outro extremo caracterizadas como mais objetivas e racionais, sobretudo, conceituais.

Em seu ponto de vista, a criança quando em seu primeiro contato com a escola e com outros meios de comunicação, a sua concepção de Terra plana, por exemplo, pode se chocar com a concepção cultural de Terra esférica, levando-a inicialmente a uma espécie de “tensão” entre o seu modo particular de ver o mundo físico e o mundo conceitual. Na medida em que o processo cognitivo da criança vai se desenvolvendo e na medida em que ela vai se enculturando, suas concepções espontâneas tendem a ser revistas e reelaboradas, podendo evoluir para concepções mais próximas daquelas culturalmente aceitas, as concepções científicas; mudando gradativamente a sua perspectiva realista ingênua de ver e conceber o Universo ela tende a uma perspectiva mais conceitual. De acordo com o autor essa mudança pode ocorrer, embora nem sempre ocorra, tanto pela “superposição” dos pontos de vista, ingênuo e conceitual, quanto pela “interação” entre eles (1998, p. 84).

Mas não vamos nos ater a todos os aspectos da tese de Bisch (1998), que por sinal é extremamente interessante e coloca muitas contribuições sobre a forma das crianças e suas professoras pensarem os objetos da astronomia. Vamos nos ater apenas aqueles aspectos que dizem respeito à forma em que essas profissionais concebem a questão dos pontos cardeais e a questão das estações do ano, assuntos que também tratamos em nossa investigação com estudantes do ensino médio, faixa etária dos 15-17 anos³⁹.

Em relação aos pontos cardeais Bisch (1998) percebeu que as professoras possuíam um bom entendimento sobre eles, todas conseguiram citar num mesmo padrão e sequência os quatro pontos conhecidos: “norte, sul, leste e oeste” (p. 157).

Em uma das questões do questionário onde o autor perguntava para onde os pontos cardeais apontavam, percebeu-se um considerável número de respostas que mencionavam o leste como o local onde o Sol nascia e o oeste onde ele tinha o seu ocaso, conforme o autor apresenta (p.157):

a) *“O leste aponta para o nascer do sol. O oeste para o Pôr do sol’ (Bem) [...]”*

³⁹ Um quadro sobre as principais concepções prévias dessas professoras pode ser encontrado entre as páginas 199-200 da tese de BISCH (1998).

Também houve respostas que utilizavam esses dois pontos cardeais para localizar o norte e o sul, “através da tradicional regra prática” [...] (idem):

b) *“O Sol nasce ao leste (indicando pelo meu braço direito). Se põe a oeste (indicado pelo meu braço esquerdo). O norte fica à minha frente e o sul às minhas costas.” (Gin);*

Porém, comenta o autor, havia uma professora que estava tão segura com essa regra prática que chegou a responder em forma de pergunta (idem):

c) *“A noite, onde fica o leste?” (The) ”*

Outras professoras ainda chegaram a se aproximar da resposta correta, embora, ainda assim não apresentavam elementos suficientes para tal (idem):

“[...] algumas professoras consideravam o leste e o oeste como definidos pelas posições de nascimento e ocaso do Sol, mas associavam o norte e o sul aos pólos: “O Leste aponta para o nascer do sol, o Oeste para o pôr do sol; o Norte para o Pólo Artico e o Sul para o pólo antártico.” (Pau).”

De modo geral, Bisch (1998) comenta que das dezessete (17) professoras que responderam ao questionário sobre os pontos cardeais, apenas duas (2) quando questionadas, pareciam ter uma entendimento razoável sobre a existência da relação entre os pontos cardeais, os polos (enquanto pontos e não regiões como muitas professoras o caracterizaram) e o eixo imaginário de rotação, embora não lhe fosse possível emitir juízo, pois suas repostas eram “sim ou acredito que sim” (idem, p. 158). Apenas cinco (5) professoras deram respostas aparentemente consistentes a essa questão respondendo que o que determinariam os pontos cardeais teria alguma ligação com os polos ou com o eixo.

Finalizando, Bisch (1998) afirma:

Verificamos, assim, que parece fazer parte do senso comum das professoras de nossa amostra o conhecimento dos nomes dos quatro pontos cardeais e que sua determinação estaria ligada ao Sol, que “nasce a leste e se põe a oeste”, porém a maioria parece não estabelecer relação entre os pontos cardeais, os pólos e a rotação da Terra (p.158).

Interpretando o trabalho de Baxter (1989), que procurava identificar as concepções prévias de um grupo de alunos ingleses (9-16 anos) em relação às estações do ano, Bisch

(1998) apresenta resumidamente em um quadro, os seis diferentes tipos de concepções-noções apresentadas pelos estudantes, identificadas em respostas a questionários e entrevistas, fundamentadas desde “termos de objetos próximos e familiares, como as nuvens, até aquelas que coincidem com as explicações científicas, passando por vários tipos intermediários” (1998, p. 105). Em destaque, encontra-se aquela noção que identifica a causa das estações do ano como devido à maior ou menor proximidade da Terra ao Sol, conforme é possível notarmos na terceira categoria:

- 1) Planetas frios recebem calor do Sol;
- 2) As nuvens pesadas do inverno bloqueiam o calor do Sol;
- 3) No inverno o Sol fica mais distante da Terra;
- 4) O Sol se move para o outro lado da Terra para lhe dar seu verão;
- 5) As estações são causadas por mudanças no planeta;
- 6) As estações são explicadas em termos do eixo da Terra que deve ser ajustado em ângulo em relação ao eixo do Sol.

Essas noções serviram como parâmetro para Bisch (1998) desenvolver parte de sua teoria e parte das atividades experimentais com as professoras investigadas. Ele toma as concepções prévias recolhidas por Baxter (1989) como norma de comparação com as concepções prévias encontradas em seus instrumentos de análise.

Analisando algumas concepções prévias das professoras, através da interpretação de seus desenhos de planeta Terra, órbita, inclinação do eixo de rotação, movimentos de rotação e translação, entre outros, Bisch (1998) logo percebe os erros conceituais e as dificuldades representacionais apresentadas nesses modelos. Desenhos fora de escala, de medida aparecem com muita frequência: a Terra representada de forma muito achatada nos polos; a Terra menor que o Sol e maior que a lua; o eixo de rotação sem inclinação ou, quando inclinado, sem um referencial; a órbita da Terra extremamente alongada; a causa das estações do ano atribuída à maior ou menor aproximação da Terra ao Sol (o que está de acordo com a categoria 3 de Baxter) são exemplos de representações e explicações mais comuns.

Resumindo alguns dos resultados que aparecem em sua análise, e algumas de suas considerações no decorrer de seu trabalho, observamos que:

- a) As representações das professoras estão baseadas nos modelos bidimensionais inadequados e (ou) insuficientes presentes em livros didáticos;
- b) Há uma dificuldade expressiva dessas profissionais em representar modelos bidimensionais (ponto de vista topocêntrico, plano) na forma de modelos tridimensionais (ponto de vista geométrico, espacial);
- c) Os modelos bidimensionais presentes nos livros didáticos são problemáticos e em muitos casos não favorecem o entendimento da espacialidade;
- d) Os professores desconhecem as formas, medidas, proporções e distâncias dos objetos do Universo e do Sistema Solar, ignorando-as na maioria dos casos.

Para superar alguns dos problemas mencionados o autor desenvolve um grande número de atividades experimentais utilizando modelos tridimensionais e apresenta alguns pontos a serem levados em consideração em atividades de ensino em astronomia:

- a) Representação do modelo Sol-Terra, onde podem ser investigadas inúmeras questões e fenômenos, entre eles: a órbita da Terra; a inclinação do eixo; a alternância entre o dia e a noite; as estações do ano. O autor sugere a utilização de bolas de isopor e lâmpada ou outros materiais de baixo custo que possam ser usados nessa representação;
- b) O cuidado com os erros conceituais presentes nos livros didáticos e com o problema da perspectiva dos modelos bidimensionais;
- c) Ensinar os objetos da astronomia através de atividades experimentais, envolvendo os alunos e permitindo a utilização e confecção de modelos tridimensionais;
- d) Ensinar respeitando as formas, medidas, proporções e distâncias dos objetos da astronomia; quando isso não for possível informar aos alunos sobre o que está sendo ignorado ou suprimido na representação;

- e) Ensinar o Sistema Solar levando em consideração o local em que se encontra o observador (a partir do planeta Terra, do plano do horizonte) e ao mesmo tempo deslocando-o desse local, proporcionando-lhe também uma visão espacial. Dito de maneira mais conceitual, proporcionando-lhe um entendimento do modelo Terra-Sol através da relação entre um modelo geocêntrico (topocêntrico) com um modelo heliocêntrico;

Leite (2002) também realizou uma pesquisa identificando as concepções prévias de 17 professores (as) de Ciências (com formações em matemática, física, química ou biologia) do ensino fundamental a respeito de algumas questões relativas ao Universo e ao Sistema Solar. Entre elas destacamos as que dizem respeito às formas, proporções e medidas da Terra, do Sol, da Lua e das estrelas; buracos negros, galáxias, constelações, estrelas cadente, céu, espaço; estações do ano, ciclo do dia/noite, eclipses e fases da lua. Tais concepções foram coletadas mediante aplicação de questionários, representações em forma de desenhos, entrevistas e filmagens. O principal objetivo da autora é reconstruir com esses professores algumas noções dos objetos do saber astronômico por meio de uma reconstrução espacial do Universo. Trata-se de uma pesquisa semelhante à desenvolvida por Bisch (1998).

Segundo o ponto de vista da autora, uma das principais causas das concepções discrepantes dos professores tem origem nas inúmeras representações errôneas ou dúbias presente nos livros didáticos, geralmente os únicos materiais utilizados por eles na preparação de suas aulas. A falta de formação específica em astronomia e também de formação continuada também é evocada.

Em relação às concepções dos professores sobre a alternância entre o dia e a noite, identifica duas categorias diferentes de respostas: a que denomina de “Vivencial” e a que denomina de “Científica”, a primeira categoria diz respeito às explicações dos professores atreladas a eventos muito próximos ao seu cotidiano, subjetivos, praticamente ausentes de uma reflexão conceitual. A segunda categoria está relacionada a uma explicação racional, objetiva, fundamentada em conceitos astronômicos.

Na primeira categoria, vivencial, encontram-se aqueles professores (12%) que relacionavam a ocorrência da alternância dia/noite simplesmente à ausência (noite) ou presença (dia) da luz solar, sem fazer relação a movimentos realizados pelo planeta Terra. A passagem do Sol por um suposto céu da Terra, ou até mesmo da rotação da Terra associada em alguns momentos à iluminação solar, se enquadram nessa categoria (p. 91).

“Quanto a luminosidade ou apenas a presença do Sol, a resposta foi:

M: o dia eu sei que é dia por que tem Sol e ilumina tudo e a noite escurece tudo e as estrelas e a lua aparecem.

E: mas como você explicaria, quando fica dia e quando fica noite, o que acontece para que fique de dia e de noite.

M: dia é claro e noite é escuro ”

E: como é que dá o dia e a noite?

I: ...Porque tem a face que o Sol vai passar para o planeta Terra e aí vem dia e depois ele vai e aí vira a noite. (mostra a Terra chão, para explicar). E inverte, lá no Japão seria noite. ”

Na segunda categoria, científica, encontram-se aqueles professores (53%) que relacionavam a ocorrência desse fenômeno (o dia e a noite) ao movimento de rotação da terra, sendo que, a alternância dia/noite era explicada segundo a face da Terra voltada (dia) ou não (noite) para o Sol. Outros professores (35%) apenas mencionaram o movimento de rotação da Terra como causa desse fenômeno natural, sem atribuir mais detalhes.

Nessa categoria, científica, a autora apresenta como exemplo as seguintes concepções (p. 89):

“E: como se dá o dia e a noite?

R: por causa do movimento de rotação da terra

E: e como seria esse movimento?

R: assim, o continente que estiver voltado para o Sol seria dia e o que não está seria noite. (Faz o movimento de rotação da Terra)

E: como se dá o dia e a noite?

V: esses raios aqui vão vindo e conforme vai virando aqui o nosso planeta ele vira lentamente, quando essa face aqui está virada para o Sol, é dia e quando essa aqui está virada para é noite ele está virada para a Lua que está refletindo que recebe do Sol e aí eu tenho noite e assim ele roda novamente volta a ser dia e como a posição de um e de outro é diferente, quando este está sendo iluminado este aqui não está sendo todo iluminado então eu vou ter a diferença de horas, o que as pessoas chamam de fuso horário.”

Leite (2002) manifesta-se surpresa ao perceber que os professores não compreendiam facilmente a alternância entre o dia e a noite. Mesmo percebendo que algumas tenham se

aproximado de uma concepção científica afirma não estar certa quando à consistência dessas respostas, ou seja, não sabe se os professores compreendem realmente a questão da rotação da Terra como causa para o ciclo dia/noite, ou se suas afirmações estão ligadas a “meras repetições dos livros didáticos” (p. 91).

Em relação à causa das estações do ano, a autora afirma já ser de seu conhecimento a frequente associação da distância entre o Sol e a Terra como argumento válido utilizado por muitos alunos e professores. Por isso, busca identificar as concepções prévias dos professores em duas etapas. Na primeira, ela procura identificá-las segundo explicações causais. E na segunda, faz questionamentos para que elas tentem explicar a diferença das estações em cada um dos dois hemisférios da Terra.

Nos resultados da primeira etapa, as explicações para a causa das estações do ano foram dadas nas seguintes características e porcentagens:

- 1) Categoria “Verão: perto, Inverno: longe”: As diferentes estações do ano, como o verão e o inverno, ocorrem devido à maior ou menor proximidade da Terra ao Sol (36%). De acordo com a autora, concepção possivelmente provinda do modelo Terra-Sol (desenho) presente em muitos livros didáticos;
- 2) Categoria “Científico”: a) As diferentes estações do ano ocorrem devido ao movimento de translação conjugado à inclinação do eixo de rotação da Terra (18%); b) apenas ao movimento de translação; c) apenas a inclinação do eixo; d) a variação do fluxo solar (somam 18 %).
- 3) Categoria “Outros”: a) Devido ao movimento de precessão; b) confusão com o movimento diário da Terra. C) Desconhecem, mas acreditam que tem alguma coisa a ver com o Sol e com a Lua (somam 29%)

Em relação à segunda etapa, onde a pesquisadora questionou os professores sobre o porquê de diferentes estações estarem presentes em diferentes hemisférios da Terra, quando no Hemisfério Sul é verão no Hemisfério Norte é inverno e vice-verso, por exemplo, verificou-se que poucos professores tinham conhecimento desse fato ou sequer tinham pensado a respeito dele. Apenas dois entrevistados indicaram ter conhecimento sobre o mesmo, conforme um deles menciona (p. 94):

“ Quando ela se aproxima do Sol, seriam as estações mais quentes e quando se afasta seriam as mais frias, agora me disseram que não era assim ”.

E, então perguntamos o por que de não ser bem assim e ela respondeu:

“Eu não entendi, porque para mim era muito fácil entender isso, ela chegou mais próxima do Sol, esquentou mais e tal. Agora, aí é que está, se ela chegou mais perto do Sol, ela inteira seria quente, e na verdade não acontece isso, seria o hemisfério norte ou sul mais quente então, não vale muito bem essa explicação, perto verão e longe inverno ” ”

Mesmo depois da etapa 1, sendo questionadas agora na etapa 2, a autora percebe ainda algumas inconsistências nas concepções desses profissionais conforme apresenta nas seguintes características e porcentagens:

- 1) Categoria “Verão: perto, Inverno: longe”: Indica aquele professor (um apenas) que ainda insiste na maior ou menor distância da Terra ao Sol como causa das estações do ano (9%).
- 2) Categoria “Científico”: Indica aquele professor (um apenas) que faz menção à inclinação do eixo como causa para as estações do ano (9%).
- 3) Categoria “Outros”: a) Indica aqueles professores que utilizam o eixo de rotação da terra e mencionam uma necessária alteração na direção do mesmo (precessão) (36%); b) Não souberam responder (27%); c) fazem confusão com o movimento diário da Terra (18%).

Ao relacionar as etapas 1 e 2, a autora concluiu que aquelas respostas que dão como causa para as estações do ano à translação da Terra são típicas de “ um conhecimento livresco, ou seja, são meras repetições do livros didático. Esses professores não conseguem relacionar as estações distintas nos diferentes hemisférios” (p. 96). Leite (2002) considera que as concepções prévias ou “pessoais” dos professores de ciências do ensino fundamental encontram-se em muitos casos misturadas às concepções científicas, confundindo-se muitas vezes, pois embora em alguns casos entendam que a causa das estações do ano se dá por uma conjunção de fatores, como o eixo de inclinação da Terra conjugado ao movimento de translação, não conseguem realizar esse movimento mantendo o eixo de inclinação na posição correta. Outro fato interessante diz respeito à surpresa dos professores ao perceberem a

existência de diferentes estações para os diferentes hemisférios, algo que desconheciam ou sequer haviam pensado até o momento. O mesmo parece ter acontecido com a alternância dia/noite.

Contudo, Leite (2002) sustenta que as concepções dos professores de ciências estão oscilando entre uma concepção vivencial do Universo e do Sistema Solar (concepção adquirida unicamente pelos sentidos, de perspectiva realista ingênua), a uma concepção científica pobre, baseada, de forma imprecisa e parcial, em alguns livros didáticos, na mídia e demais informativos precários.

Alguns resultados e sugestões apresentados pela autora ao longo de sua pesquisa são listados a seguir:

- a) Há entre muitos professores do ensino de ciências do nível fundamental uma concepção de Terra, de Sol, de estrelas e de Lua como objetos planos, e não esféricos como realmente deveriam ser entendidos;
- b) As concepções prévias dos professores são frequentemente sustentadas pelos livros didáticos e pela mídia;
- c) Há ainda uma predominância na representação dos professores de um “céu no topo”, como se a terra fosse dividida em duas partes, o céu “em cima” e a terra “em baixo”, demonstrando também um entendimento pobre da espacialidade;
- d) Considera importante a realização de experiências com os alunos e professores para que eles consigam sair da visão geocêntrica imediata para uma visão heliocêntrica, observando o espaço e seus objetos celestes do ponto de vista de um observador fora da Terra. “E isto é bastante complicado, já que a observação ‘natural’ é geocêntrica. Fazer uma associação entre a visão geocêntrica e a explicação heliocêntrica exige uma abstração bastante apurada”. (p. 107) Essas experiências poderiam ser realizadas com modelos tridimensionais, tomando cuidado com as representações planas presentes nos livros didáticos e favorecendo uma visão mais adequada para a forma desses objetos;
- e) Toda e qualquer forma de ensino em astronomia deve partir das concepções prévias dos alunos para poder reestruturá-las e aproximá-las das concepções científicas.

Retomando alguns elementos até aqui apresentados, segundo as pesquisas de Barrabín (1995), Bisch (1998) e Leite (2002) percebemos que existem algumas concepções prévias que são comuns a todas as pesquisas. O entendimento de que as estações do ano se devem à maior ou menor proximidade da Terra ao Sol parece definir muito bem o que a grande maioria dos alunos e professores vem concebendo. Os autores acima referidos comentam que essas concepções, em especial, parecem provir e (ou) são fortalecidas pelos livros didáticos. Os modelos Terra-Sol, presentes na grande maioria destes livros representam a órbita da Terra em volta do Sol de forma excessivamente excêntrica e conseqüentemente fortalecem a ideia de que a causa das estações do ano deve-se à proximidade (verão) ou afastamento (inverno) da Terra ao Sol.

No que se refere aos pontos cardeais, Bisch (1998) mostrou que as professoras têm certo conhecimento deles, todos recitam os nomes leste, oeste, norte, sul, porém não sabem como eles são definidos, não sabem também que o Sol tem seu nascimento e ocaso ao leste e oeste, respectivamente, apenas em dois dias por ano, no período dos equinócios. Paula & Oliveira (2002) constataram em algumas ilustrações retiradas de livros didáticos o esquema comum e típico mostrando uma pessoa com o braço direito estendido indicando o leste, esquerdo indicando o oeste, a face apontando para o norte e as costas apontando para o Sul, onde ao fundo, também eram representadas as cinco estrelas do cruzeiro do sul visíveis a olho nu. Percebe-se nessa ilustração que não há nenhuma indicação do polo sul celeste, o que permitiria encontrar o ponto cardeal sul e a partir dele os outros pontos cardeais. O que dá a entender nessa ilustração é que para encontrar o leste (um ponto específico) basta à pessoa se posicionar estendendo o braço direito para o local do nascimento do Sol e seguir a regra básica, encontrando os outros pontos. Esse esquema pode reforçar a permanência de concepções errôneas dos alunos e professores.

Em relação à alternância entre o dia e a noite Leite (2002) observa que quase metade dos professores não consegue associar esses acontecimentos ao movimento de rotação da Terra. Mas há casos em que a associação é feita de forma aceitável, mas, mesmo assim o pesquisador não pode supor a existência da evidência de um entendimento concreto, poderia se tratar de uma simples repetição do que alguns livros didáticos anunciam.

Barrabín (1995), Bisch (1998) e Leite (2002) também comentam sobre o problema de se trabalhar temas ligados ao Universo e ao Sistema Solar devido à dificuldade de se compreender a questão da espacialidade presente nos modelos bidimensionais dos livros didáticos. Os autores sugerem o desenvolvimento de atividades que vão além dos livros

didáticos; podem ser atividades de experimentação que favoreçam o trabalho com modelos tridimensionais: estes sim podem facilitar um bom entendimento e compreensão das formas, das distâncias e da perspectiva dos objetos enquanto corpos cósmicos. É desejável também incluir atividades de observação do céu, favorecendo um contato direto com a realidade dos objetos celestes a serem estudados.

De modo semelhante, podemos perceber ainda, nas três pesquisas mencionadas, certa dificuldade por parte dos alunos e de seus professores em adquirirem uma visão heliocêntrica do Sistema Solar. O que é natural do ponto de vista da simples observação, já que estamos sobre a superfície de um planeta do qual sequer sentimos o movimento, identificamos o nascimento e ocaso do Sol praticamente todos os dias. O ponto de vista da ciência, construído já desde o Renascimento com Copérnico, passando por Kepler e Newton, com o Sol ocupando o centro do Sistema Solar e não mais a Terra como até então se acreditava, representa então uma espécie de sublimação, uma superação, melhor ainda, uma ressignificação do senso comum (SOBREIRA, 2010).

Deveríamos então destruir totalmente a visão geocêntrica do Sistema Solar de nossos alunos? É claro que não, e pelos menos em parte os autores concordariam conosco: seria pertinente oportunizar aos alunos perceberem até que medida eles estão corretos e até que medida os seus sentidos os enganam. E os autores têm proposto isto. Muitos autores têm proposto o desenvolvimento de modelos Terra-Sol por meio de objetos tridimensionais, oportunizando aos alunos uma visão de fora da superfície da Terra, uma visão heliocêntrica (CANALLE, 1994; BARRABÍM, 1995; BISCH, 1998; LEITE, 2002; entre outros); também é verdade que a visão geocêntrica (topocêntrica), a partir do ponto de vista de quem está centrado na Terra é desejável, pois é a forma mais comum e viável que temos para observar os astros (LANCIANO, 1989 *apud* SOBREIRA, 2010).

O referencial Geocêntrico foi fundamental nos modelos cosmográficos desde a Antiguidade até os séculos XVII e XVIII. O referencial topocêntrico é ideal para ilustrar o Movimento Anual Aparente do Sol no céu, por isso, este é um referencial importantíssimo para o ensino (SOBREIRA, 2010, p. 55).

Entendendo que o movimento entre o Sol e a Terra é um movimento relativo, que o Sol e a Terra encontram-se submetidos a forças gravitacionais e que devido o movimento de rotação (oeste-leste) e translação realizados pela Terra em torno do Sol observamos um movimento anual aparente do Sol num sentido contrário (leste-oeste) na esfera celeste (céu), não existiria muitos problemas em observar esse movimento a partir de um modelo geocêntrico (topocêntrico). A dificuldade estaria na coordenação de dois pontos de vista, o

geocêntrico, do ponto de vista de um observador na Terra, e o heliocêntrico, do ponto de vista de um observador no espaço⁴⁰.

Por fim, um fator muito importante a ser levado em consideração em atividades de ensino de astronomia já mencionado por alguns pesquisadores até aqui abordados é o da necessária identificação das ideias espontâneas dos alunos, entendendo-as como naturais, nascidas das formas de comunicação e de compreensão do mundo físico que eles desenvolveram no cotidiano, porém, entendendo-as como concepções que precisam ser problematizadas, modificadas e reelaboradas a fim de que possam aproximar-se das concepções culturalmente aceitas. Porém, não se trata de um jogo de alterar a todo custo as concepções prévias dos alunos, até por que não temos esse direito, trata-se, sobretudo, de fornecer condições para que elas sejam confrontadas e possivelmente transformadas. Villani (1989, p. 139) oferece-nos quatro estratégias interessantes para que isso seja realizado.

A primeira consistiria em “diminuir a segurança do conhecimento espontâneo”, oportunizando atividades nas quais os alunos tenham que confrontar as suas ideias com as ideias de seus colegas de tal modo que se sintam problematizados e insatisfeitos com aquilo que acreditam. “Essa atividade tem sido desenvolvida mediante discussões em grupos pequenos, nos quais as ideias aparecem contraditórias, mediante diálogos do tipo socrático, nos quais o professor orienta as perguntas até obter uma formulação explícita das ideias espontâneas” (p. 139). É um momento importante da investigação, pois, ao mesmo tempo em que os alunos se colocam a expor os seus pontos de vista, percebem que estes não são os únicos e que existem outras possibilidades de explicação. Ficando muitas vezes insatisfeitos e inseguros com o seu modo de pensar sobre um determinado fenômeno em estudo eles se colocam a questionar as suas próprias ideias espontâneas.

A segunda estratégia consistiria em “atacar o conhecimento espontâneo em seus pontos fracos”. É um momento crítico para o professor, pois este precisa apresentar contra-exemplos que permitam que os alunos percebam algum problema em suas ideias e, sobretudo, se disponham a revê-las. “Não é qualquer contra-exemplo que debilita o conhecimento

⁴⁰ E também é preciso que todos tenham claro que estarão dentro de uma atividade de modelização e, portanto, existem elementos teóricos que são excluídos da representação. Os modelos como idealizações da realidade não conseguem dar conta de toda teoria que os sustenta. Por exemplo: os alunos e professores precisam saber que a órbita da terra é elíptica, porém de excentricidade muito pequena, o que a torna (para a maior parte dos casos) praticamente circular, e que o Sol encontra-se no foco dessa trajetória (muito próximo ao centro, mas não exatamente). Se o problema fosse o de construir um relógio solar, então a excentricidade da órbita da Terra teria um efeito absolutamente não desprezível. Mas esse não é o caso aqui. Existem outros movimentos realizados pela Terra, como o de precessão, por exemplo, porém são ignorados na representação por não afetarem o sistema no período de uma vida humana. O Sol, a Terra e os outros planetas em relação ao Universo se encontram em movimento, na direção do APÉX, porém, o Sol ocupando centro do Sistema Solar sofreria uma menor atração.

espontâneo do aluno, mas somente o contra-exemplo reconhecido como tal” (p.140). Isso significa que o contra-exemplo dado pelo professor deve permitir com que o aluno consiga realizar alguma previsão sobre o fenômeno com base em seu conhecimento espontâneo. Por exemplo, ao discutirmos com um grupo de alunos sobre a principal causa das estações do ano, alguns alunos poderão mencionar que é devido à maior ou menor proximidade da Terra em relação ao Sol. Outros alunos, possivelmente, dirão que é devido à inclinação do eixo imaginário de rotação da Terra. O professor então poderá comentar que a primeira explicação não é válida, existe sim um maior e menor afastamento da Terra em relação ao Sol, durante o período de um ano, porém isso é simplesmente irrelevante. A segunda é parcialmente verdadeira, a causa real das estações do ano é a inclinação do eixo imaginário de rotação da Terra (que é de aproximadamente $23,5^\circ$ em relação à perpendicular ao plano de sua órbita ou, o mesmo plano em que o Sol está contido) conjuntamente atrelada ao movimento de translação em torno do Sol.

A terceira estratégia caracteriza-se por “mostrar o poder da explicação do conhecimento científico em relação aos contra-exemplos”. Após os comentários, o professor poderia então apresentar contra-exemplos, ancorados na representação do modelo Terra-Sol em uma sala de aula escurecida ou laboratório de física utilizando um retroprojetor ou lâmpada (representando o Sol) e um “globinho” do planeta Terra (representado a Terra) ou outro material que possa realizar a mesma função. Agindo dessa forma o professor estaria iniciando os alunos acerca do poder explicativo das previsões científicas através dos objetos-modelo didáticos utilizados, e refutando alguns aspectos das explicações espontâneas. Porém, estas estratégias colocadas para diminuir o poder de explicação das ideias espontâneas dos alunos com o fim de aproximá-las das ideias científicas colocam a necessidade de um trabalho sistemático entre as etapas, conferindo ainda uma quarta e última etapa, “não necessariamente posterior às já acenadas” (idem).

A quarta e última etapa visa então “aumentar a consistência do conhecimento científico dos estudantes”. Para que o conhecimento científico em relação ao fenômeno em estudo se torne então fonte de confiança para o aluno, de tal modo que ele atribua a esse conhecimento sentido e significado é necessário que o mesmo seja incluído na atividade, de tal maneira que tenha a possibilidade de se apropriar das ideias ali envolvidas conseguindo analisá-las, sintetizá-las, manipulá-las e operá-las, enfim, de apreendê-las. “O sucesso nessa tarefa será obtido principalmente mediante os tradicionais exercícios, problemas e questões simples, bem escolhidos e capazes de fornecerem uma idéia bastante ampla do seu funcionamento” (p. 142). Agindo desse modo o professor estará possibilitando ao aluno a

oportunidade de reformular as suas ideias espontâneas, refazendo o seu pensamento anterior e a ele agregando novas ideias.

Concordamos com Villani (1989) quando ele afirma que, em primeiro lugar, devemos entender que, na escola, a mudança conceitual é necessária, e na grande maioria das vezes as concepções prévias dos alunos constituem-se em verdadeiros obstáculos ao aprendizado das concepções científicas. Porém, é falsa a ideia de que os professores devam a todo custo se transformar em destruidores das ideias dos alunos, pois, “tal objetivo é impraticável, o ensino escolar sozinho é incapaz de destruir idéias que encontram reforço contínuo na cultura, na comunicação social e na linguagem cotidiana” (p. 143).

Em segundo lugar, também estamos de acordo com o autor quando ele diz que “a função do ensino não é acabar com as ideias espontâneas dos alunos, porém fortalecer as ideias científicas, estruturando-as e ampliando o seu poder de explicação até onde é possível e viável.” (idem) Tais ideias devem apenas ser confrontadas na medida em que se constituem em verdadeiros obstáculos ao acesso às ideias científicas, que em todo caso também não são verdades absolutas.

Em terceiro lugar, não podemos ignorar que as ideias espontâneas fazem parte da própria estrutura cognitiva dos alunos, auxiliando-os muitas vezes na “solução rápida de problemas cotidianos” (p. 144), na construção de teorias implícitas (POZO, 2002) sobre os fenômenos físicos, as quais são para eles a primeira forma de acesso ao entendimento do mundo. Portanto, será mais fácil para o professor partir das ideias espontâneas dos seus alunos na direção das ideias científicas do que o contrário.

4 O PROCESSO EXPERIMENTAL

Neste capítulo, num primeiro momento, vamos apresentar algumas concepções prévias identificadas em nossa pesquisa com um grupo de 11 alunos do último ano do ensino médio de uma escola de Caxias do Sul - RS. Concepções que inicialmente tentamos conhecer para depois confrontá-las, tentando aproximá-las das concepções aceitas pela astronomia. Um dos fatores da escolha de trabalhar com estudantes do terceiro ano do ensino médio é o de que nesse momento do ritmo escolar, após terem trabalhado com alguns aspectos da astronomia durante o ensino fundamental, eles também já terão trabalhado com noções de geometria euclidiana plana e espacial – noções que entendemos como importantes para a compreensão de alguns elementos presentes nos objetos-modelos didáticos utilizados, principalmente o modelo do MAS. Os alunos participantes foram escolhidos pela direção e coordenação pedagógica da escola, que utilizaram como critério de escolha aqueles alunos que consideravam “mais avançados”. Em uma conversa preliminar e informal com os alunos, ficamos sabendo que muitos já haviam estudado temas de astronomia no ensino fundamental e em uma disciplina de física no segundo ano do ensino médio.

Os estudantes do grupo selecionado para a pesquisa foram então convidados, inicialmente, a responder um questionário contendo três perguntas abertas, com o objetivo de confrontarmos e analisarmos algumas de suas concepções prévias com aquelas identificadas na literatura da área, como também para eventualmente, apresentarmos novos elementos. A decisão de aplicar questionários deste tipo nos pareceu à melhor para essa dissertação, pois permite aos alunos uma maior liberdade na elaboração dos argumentos, não os deixando apenas “restritos a marcar uma ou outra alternativa” (RICHARDSON, 1999, p. 193-195).

O método que utilizamos para análise e interpretação dos dados encontrados foi a da “análise textual discursiva” de Moraes & Galiazzi (2007). De acordo com esses autores a análise textual discursiva é um método frequentemente utilizado em pesquisas de natureza qualitativa para a análise de qualquer tipo de texto; entendendo texto como qualquer tipo de mensagem, linguagem e discurso mesmo que parte do seu conteúdo (*corpus*)⁴¹ seja de natureza não verbal, podendo assim ser constituído, por exemplo, de manifestações simbólicas diferentes da fala e da escrita. Dessa forma, os textos que compõem o *corpus* da pesquisa podem ser “[...] transcrições de entrevistas, registros de observações, depoimentos

⁴¹ O termo *corpus*, segundo Moraes & Galiazzi (id. p. 16) provém de *Bardin* (1977) e representa as informações, as produções linguísticas que dizem respeito a um determinado fenômeno em investigação.

produzidos por escrito [...] relatórios, publicações de variada natureza, tais como editoriais de jornais e revistas, resultados de avaliações [...], entre muito outros” (p. 17).

O método proposto na análise textual discursiva permite ao pesquisador a organização dos documentos que compõem o *corpus* em “quatro focos” no qual os três primeiros formam o ciclo principal. O primeiro foco é o da desmontagem dos textos ou “unitarização”, uma forma de fragmentar os textos em busca da análise dos detalhes; no segundo foco, procura-se o estabelecimento de relações entre os elementos dos textos unitarizados, a “categorização”; no terceiro, o alvo é a captação do “novo emergente”, uma espécie de “compreensão renovada” dos dois focos anteriores em função de um todo, “em que a nova compreensão é comunicada e validada”. Por fim, é buscada a interação entre esses três focos por meio de um processo auto-organizado, do qual podem surgir novas compreensões acerca do tema de pesquisa, dando origem a um *metatexto*⁴² (p. 11-12).

O processo da análise textual discursiva, de modo geral, tem sido um método utilizado em pesquisas de natureza qualitativa nas quais o pesquisador, mediante o processo da leitura, coloca-se a descrever e interpretar alguns sentidos encontrados em um conjunto de textos. Entendendo que “toda leitura já é uma interpretação e que não existe uma leitura única e objetiva”, o pesquisador precisa saber de antemão que, dado um conjunto de textos, sempre se podem estabelecer inúmeros significados entre os seus inúmeros significantes (p. 14-15) Mesmo assim, ele deve reconhecer que não se trata de uma leitura qualquer, antes de tudo “é um exercício de produzir e expressar sentidos” em vista de uma compreensão dos fenômenos investigados a fim de torná-los válidos e confiáveis (p. 15).

Cabe assim ao pesquisador reconhecer num conjunto de textos recolhidos uma pluralidade de sentidos que ele precisa analisar e interpretar segundo os seus conhecimentos e teorias. A ele compete também assumir-se autor das interpretações que produz, considerando de igual modo os demais autores presentes nos textos analisados e nas teorias pré-existentes (aquelas que dão sustentação à pesquisa). Esse processo descritivo e interpretativo, em que o pesquisador inicialmente busca através da análise fragmentar os textos em busca dos detalhes, das relações de semelhanças e diferenças entre as unidades de interesse, para então reuni-las posteriormente através do estabelecimento de categorias, produzindo uma síntese, possibilita por fim a construção de um texto, um “metatexto”, a partir de uma nova compreensão dos significados e dos sentidos encontrados.

⁴² Os metatextos expressam “os sentidos lidos num conjunto de textos” e são “constituídos de descrição e interpretação, representando o conjunto de teorização sobre os fenômenos investigados” (idem, p.32)

Depois, num segundo momento, apresentaremos um resumo dos ambientes de aprendizagem utilizados, bem como do processo de modelização em torno dos objetos-modelo didáticos empregados. Da sala de aula ao laboratório de física e destes ao planetário inflável do museu de ciências da Universidade de Caxias do Sul os alunos serão envolvidos em atividades de análise, exploração, elaboração e construção de objetos-modelos didáticos, convergindo em especial para a modelização do modelo do MAS. Utilizando ainda o método da análise textual discursiva, procuraremos descrever e interpretar como se deu a interação entre pesquisador, alunos e objetos do saber astronômico em cada uma das atividades.

Por fim, num terceiro momento, vamos apresentar algumas possíveis mudanças nas concepções prévias dos alunos após participarem das atividades de modelização nos diferentes ambientes de aprendizagem. Tentaremos focalizar algumas reações dos alunos no que diz respeito ao uso dos objetos-modelos didáticos e o quanto eles afetaram as suas percepções dos fenômenos naturais em estudo. Para a identificação dessas pós-concepções realizamos uma entrevista semi-estruturada em que os estudantes participantes da pesquisa foram submetidos de forma individual, por aproximadamente 10 minutos, a perguntas relacionadas aos fenômenos naturais em estudo, às atividades de modelização até então realizadas e aos possíveis aprendizados que delas emergiram.

Segundo Lüdke (1990, p.34) “a entrevista semi-estruturada se desenrola a partir de um esquema básico porém não aplicado rigidamente, permitindo que o entrevistador faça as necessárias adaptações”. A autora sustenta ainda que esta forma de entrevista parece ser uma das mais adequadas para trabalhos de pesquisa em educação, pois, “aproxima-se dos esquemas mais livres, menos estruturados”, permitindo uma maior liberdade à comunicação entrevistador-entrevistado. Para a análise e interpretação dos dados também utilizamos o método da análise textual discursiva de Moraes & Galiuzzi (2007), descrito brevemente mais acima.

Tanto no segundo quanto no terceiro momento da pesquisa, a fim de ter um maior poder de análise, utilizamos gravadores de áudio e vídeo para captar algumas vozes e gestos dos participantes. Em pesquisas dessa natureza, Moraes & Galiuzzi (2007) tem mencionado a importância da utilização destes instrumentos para a coleta dos dados, pois a busca de outras linguagens simbólicas, tais como os gestos, retorna invariavelmente informações valiosas para a interpretação de dados que de outra forma poderiam passar despercebidos pelo pesquisador. Todos os alunos e seus responsáveis autorizaram as gravações através da assinatura de um termo de consentimento livre e esclarecido.

Todas as atividades, a contar da aplicação do questionário, das oficinas de modelização e das entrevistas semi-estruturadas contabilizaram aproximadamente 11 horas.

4.1 CONCEPÇÕES PRÉVIAS: ALGUNS ELEMENTOS ENCONTRADOS NA PESQUISA

Neste subcapítulo vamos apresentar algumas concepções prévias dos alunos participantes da pesquisa no que diz respeito ao movimento anual aparente do Sol em Caxias do Sul – RS (~30° Hemisfério Sul). Mais precisamente sobre as diferentes direções do nascimento e do pôr do Sol ao longo do ano; sobre a projeção da sombra solar nos objetos e a sua variação ao longo do dia; e sobre o período de luz solar (dia claro) ao longo do ano. Para a análise e interpretação dos dados seguimos o método da análise textual discursiva de Moraes & Galiazzi (2007)⁴³.

4.1.1 A posição do nascimento do Sol ao longo do ano

Primeira pergunta: *Você levanta bem cedo e ao olhar pela janela percebe que o Sol está nascendo, justamente por trás de uma árvore distante. Nos outros dias do ano o Sol continua a nascer por trás desta mesma árvore? Comente sua resposta.*

Com essa pergunta tivemos como objetivo, identificar as concepções prévias dos alunos em relação às diferentes direções do nascimento do Sol ao longo do ano. Dito de outra forma, identificar quais eram as suas ideias em relação à mudança da posição anual do Sol quando ele surge no horizonte pela manhã.

Analisando o conjunto de respostas chegamos ao desenvolvimento de duas categorias. A primeira categoria, diz respeito aqueles alunos (três ao total) que afirmaram que o nascimento do Sol ao longo do ano **não muda** de posição. A segunda categoria, aqueles alunos (sete ao total) que afirmaram que o nascimento do Sol ao longo do ano **muda de posição**. Dentro desta última categoria, encontram-se de um lado, aqueles alunos (quatro ao total) que mesmo mencionando essa mudança de posição não justificam de forma aceitável a sua resposta. De outro lado, encontram-se aqueles alunos (três ao total) que justificam de forma aceitável. Um dos alunos não respondeu diretamente a pergunta.

⁴³ O questionário de perguntas abertas que foi aplicado aos alunos pode ser consultado no anexo A

- 1) **Não muda:** diz respeito aqueles alunos que acreditam que o nascimento do Sol ao longo do ano não muda de posição:

Podemos observar que dos dez (10) alunos que responderam a pergunta, três (3) afirmaram que o nascimento do Sol não muda ao longo do ano, continuando a nascer sempre por trás da “árvore distante”. Um dos alunos, **Rob**, explica que isso ocorre devido ao nascimento do Sol ser sempre na direção do ponto cardeal leste:

“Sim [ele volta a nascer por trás da árvore distante], pois o sol nasce sempre do mesmo lugar, o leste.” (Rob).

Os outros dois (2) alunos, **Gil** e **Pri**, que também compartilham da mesma ideia, embora não mencionem nenhum ponto cardeal em específico, acreditam que o Sol nasce sempre no mesmo lugar. Em suas justificativas parece haver ainda alguma confusão entre as noções de movimento e de órbita.

Para **Gil** o motivo de o Sol nascer sempre no mesmo lugar durante o ano tem alguma relação com o movimento de rotação da Terra, embora, o aluno parece estar confundindo o movimento que ela exerce sobre o seu próprio eixo com o movimento que ela exerce em “volta do Sol”, isto é, com o movimento de translação.

“Sim [ele volta a nascer por trás da árvore distante], eu acredito que todos os dias do ano a rotação da Terra em volta do Sol é igual.” (Gil).

Pri justifica de forma semelhante, é devido ao movimento de rotação da Terra que percebemos o Sol, ao longo do ano, nascer sempre por de trás da árvore distante. Assim como **Gil** a aluna também parece confundir o movimento de rotação com o movimento de translação. Essa ideia é reforçada com outra, onde **Pri** parece dar a entender que a órbita da Terra é bastante excêntrica (alongada), ao dizer que “nosso planeta se afasta e se aproxima”.

“Lógico [ele volta a nascer por trás da árvore distante], pois estamos em constante rotação e com isso o nosso planeta se afasta e se aproxima.” (Pri).

- 2) **Muda (inaceitável):** diz respeito aqueles alunos que acreditam que o nascimento do Sol ao longo do ano muda de posição, mas mesmo assim não apresentam uma explicação aceitável para a causa, dividem-se em três subcategorias de respostas:

- a) Devido apenas ao movimento de rotação da Terra:

“Não [volta a nascer por trás da árvore distante], pois a Terra está em constante rotação.” (Bel).

- b) Devido a algum movimento da Terra ou do Sol, porém sem mencionar quais são eles:

“Não [volta a nascer por trás da árvore distante], pois a cada dia a Terra se movimenta e o Sol anda com ela.” (Fra).

“Não [volta a nascer por detrás da árvore distante], pois devido aos movimentos do Sol e da Terra o Sol nem sempre está no mesmo lugar.” (Ted).

- c) Responde mas não apresenta um motivo suficiente.

“Não [volta a nascer por trás da árvore distante], ele muda de posição.” (Leo).

- 3) **Muda (aceitável):** diz respeito aqueles alunos que acreditam que o nascimento do Sol ao longo do ano muda de posição e justificam de maneira aceitável sua resposta, pois parecem entender que essa mudança deve ter alguma relação com o movimento de rotação e translação da Terra ou com as estações do ano, embora não mencionem a inclinação do eixo imaginário de rotação da Terra.

“Não [volta a nascer por trás da árvore distante]. O sol aparece em pontos diferentes durante o ano, também com intensidade diferente. Assim se diferenciam as estações.” (Pet).

“Não [volta a nascer por trás da árvore distante]. A Terra passa por constantes movimentos de rotação e translação. Estes determinam o dia e também os períodos das 4 estações. Em cada uma, a Terra muda de posição em relação ao Sol.” (Kel).

“Não [volta a nascer por trás da árvore distante], porque a cada estação do ano o sol muda de posição, não tenho muito conhecimento nesse assunto.” (Mel).

Conclusão:

Dos alunos que responderam ao questionário, três (3) deles acreditam que o Sol não muda a posição do seu nascimento ao longo do ano, permanecendo sempre a mesma, sendo que apenas um (1) deles explicita ser o ponto cardeal leste esta posição.

Dos outros oito (8) alunos, um não respondeu diretamente a pergunta e sete (7) acreditam que o Sol não volta a nascer no mesmo lugar nos outros dias do ano e não fazem menção a nenhum ponto cardeal em específico. Destes sete alunos apenas três (3) apresentaram argumentos aparentemente coerentes e, portanto, aceitáveis do ponto de vista científico, atribuindo essa mudança de posição, ao longo do ano, com alguma relação ao movimento de rotação e translação ou às estações do ano, embora, não tenham mencionado a inclinação do eixo de rotação da Terra.

De fato, não é nada trivial entender o movimento anual aparente do Sol e identificar as diferentes direções do seu nascimento. Há um conjunto de fatores que precisamos relacionar. O movimento de translação seria o principal deles, porém teríamos que levar em consideração também a inclinação do eixo imaginário de rotação da Terra (aproximadamente $23,5^\circ$ em relação à perpendicular ao plano de sua órbita, o mesmo plano que contém o Sol) e o movimento de rotação.

Para um observador localizado sobre a superfície do planeta Terra, em Caxias do Sul, por exemplo, não é difícil perceber o Sol nascer nas proximidades do leste, cruzando o céu em uma trajetória curvilínea, passando quase sobre nossas cabeças ao meio-dia, e se pôr ao final da tarde nas proximidades do oeste. Esse movimento de nascer e se pôr todos os dias, denominado de “movimento diurno” do Sol, encontra-se atrelado ao movimento de rotação da Terra.

Porém, é devido ao movimento de translação da Terra, por sua vez, em conjunto com o movimento de rotação, que teremos outro movimento aparente do Sol, mais lento que este último, que fará com que o Sol varie a posição do seu nascimento em relação ao leste ao longo do ano. Assim, o Sol estará nascendo ao leste na entrada do outono e da primavera (aproximadamente 21 de março e 23 de setembro, respectivamente); nascendo mais ao norte do leste na entrada do inverno (aproximadamente 21 de Junho); e nascendo mais ao sul do leste na entrada do verão (aproximadamente 22 de dezembro). Essa mudança de posição do nascimento do Sol ao longo do ano, indo do leste às proximidades do sul, depois retornando ao leste e, indo do leste às proximidades do norte, retornando novamente ao leste, em um ciclo que volta a se repetir ao longo do ano, permitindo-nos definir as diferentes estações em cada uma dessas posições, está também diretamente atrelada à inclinação do eixo de rotação.

Na medida em que a Terra vai orbitando o Sol ao longo do ano, com seus principais movimentos (rotação e translação) e mantendo praticamente fixa a inclinação do seu eixo de rotação, o Sol tende a surgir no horizonte a cada manhã, em uma posição que varia em pequeno grau em relação à posição anterior. É então devido a uma sucessão de fatores inter-relacionados que o Sol tende a mudar a posição do seu nascimento durante o ano. Ao longo da pesquisa esse assunto foi melhor explorado com os alunos, através das explicações psicológicas oportunizadas pelos objetos-modelo didáticos utilizados.

Ao elaborarmos a pergunta de forma aberta, já sabíamos, conforme Bisch (1998) e conforme nossas experiências nas apresentações do planetário inflável, do grande número de alunos que acreditavam que o Sol sempre nascia no leste e se punha no oeste. Ao fazê-la, pensávamos que a maioria dos alunos poderia associar a “árvore distante” ao ponto cardinal leste e assim prever, se possível, a variação da posição do nascimento do Sol em relação a ela. Mas não pensávamos em levá-los ao erro! Tínhamos a intenção de não fazer essa pergunta de forma fechada, pois muitos alunos iriam possivelmente apenas marcar com um (X) o leste ou outro ponto cardinal qualquer, sem conseguir justificar a sua resposta e assim melhor expor o seu pensamento a respeito.

Então, aplicando a pergunta de forma aberta, conseguimos perceber uma tentativa dos alunos em resgatar os seus conhecimentos anteriores para poder explicá-la da melhor forma possível, sem “chutar” uma ou outra resposta. Ao analisarmos as respostas nos questionários ficamos intrigados e até mesmo surpresos por um instante ao identificar que a maioria dos alunos não mencionou o ponto cardinal leste como a posição que o Sol nasce ao longo do ano. Apenas um dos alunos assim o fez. Porém, surpresa que durou por muito pouco tempo!

Durante o processo da pesquisa, quando então realizamos a sessão no planetário inflável, no momento da simulação do movimento aparente do Sol na esfera celeste para identificarmos as diferentes posições do seu nascimento ao longo do ano, foi unânime a revolta dos alunos. Eles se mostraram indignados por terem aprendido na escola que o Sol nascia sempre ao leste e ocaso no oeste. Mostraram-se surpresos ao entenderem que o Sol tinha seu nascimento no leste e ocaso no oeste apenas em dois dias por ano, no período da entrada do outono e da primavera, nos equinócios. Apenas um dos alunos disse já saber que o Sol nem sempre nascia a leste, embora nunca tivesse pensado em questionar seus professores por lhe terem ensinado errado.

Selecionamos algumas respostas que surgiram durante a entrevista semi-estruturada, após as atividades de modelização, que demonstram muito bem essa situação:

“O que você teria a dizer sobre o nascimento do Sol durante o ano? Você chegou a aprender algo novo?” (pesquisador).

“Eu a vida inteira sabia que era no leste [que o Sol nascia] e eu descobri agora que não é só no leste.” (Pri).

“Sim né. Que eu achava que o Sol sempre nascia no leste e não é bem assim né! E eu não sabia que ele nascia, tipo, em lugares diferentes.” (Bel).

“Com certeza! Que ele não nasce só no leste como a gente tinha aprendido na escola, que conforme a movimentação e as estações e tal ele muda de lugar, ele nasce mais para um lado mais para o outro e que na verdade o Sol só nasce no leste dois dias por ano! Completamente fora do que a gente tinha aprendido na escola, mas foi bem bom saber. Alíás foi ruim saber que a gente estava errado né! A gente sempre pensou errado, mas foi bom descobrir o jeito certo de pensar.” (Kel).

Podemos concluir então, que as concepções prévias dos alunos em relação a essa questão estavam baseadas num ensino pouco efetivo. Suas concepções eram muito semelhantes às concepções dos seus professores, o leste era a “única” direção do nascimento e o oeste a “única” direção do pôr do Sol ao longo do ano. Não existiam outras direções ou posições. Embora a maioria dos alunos não deixasse transparecer essa ideia nas respostas ao questionário, podemos observar na sequência da pesquisa que ela se encontrava fortemente enraizada.

Levando tudo isso em consideração, é possível sustentar que o possível engano dos professores ao ensinar os seus alunos de forma imprecisa (para não dizer errada, já que o Sol nasce no leste e se põe no oeste apenas em dois dias do ano) pode estar baseada nos erros conceituais presentes nas imagens dos livros didáticos já levantados por Bisch (1998) e Paula & Oliveira (2002). A aprendizagem dos alunos, de certa forma, também parece estar ligada a esses materiais desatualizados.

4.1.2 A sombra Solar em Caxias do Sul

Segunda pergunta: *Neste mesmo dia você percebe que por volta das 10:00 horas da manhã os objetos que encontra neste cenário: as árvores, a sua casa, os postes de luz, etc. projetam sobre o solo uma sombra que se estende em uma determinada direção. Ao meio-dia a sombra projetada por esses mesmos objetos continua nesta direção? Mudam de direção? Somem? Comente sua resposta considerando a sua região.*

Com essa pergunta buscamos identificar as concepções prévias dos alunos no que diz respeito à mudança de posição da sombra solar e à variação do comprimento de sua projeção ao longo do dia para Caxias do Sul – RS.

Analisando o conjunto de respostas chegamos ao desenvolvimento de cinco tipos de categorias: A primeira categoria, diz respeito aquele aluno (um ao total) que afirma que a sombra solar ao meio-dia em Caxias do Sul **continua na mesma direção** que aquela direção em que apontava às 10:00 hs, porém considera que a projeção da sombra é **menor**. A segunda categoria, aquele aluno (um ao total) que afirma que a sombra solar ao meio-dia em Caxias do Sul **apenas muda de direção**. A terceira categoria, aqueles alunos (três ao total) que consideram que a sombra solar ao meio-dia em Caxias do Sul **some** (desaparece). Nestas três categorias encontram-se algumas limitações nas respostas que demonstram uma explicação pouco eficiente para a causa do fenômeno. A quarta categoria, aqueles alunos (dois ao total) que estão ou parecem estar utilizando a **linha do equador** como referência para responder a pergunta. E a quinta e última categoria, diz respeito aqueles alunos (quatro ao total) que afirmam que a sombra solar ao meio-dia em Caxias do Sul **muda de direção** em relação aquela das 10:00 hs, considerando além disso que ela **não some**. Nessas respostas parece existir um conhecimento mais abrangente que as demais, pois os entrevistados explicam com mais propriedade a causa do fenômeno mesmo com alguma limitação.

- 1) **Continua na mesma direção e, é menor:** diz respeito aquele aluno que considera, erroneamente, que a sombra solar projetada sobre os objetos ao meio-dia em Caxias do Sul aponta na mesma direção que apontava anteriormente às 10:00 hs. Porém, mesmo percebendo que ao meio-dia o comprimento da projeção da sombra é menor que aquela de duas horas atrás, não demonstra possuir uma noção explícita sobre a altura do Sol.

“Continua na mesma direção, porém são menores devido ao movimento da terra.” (Ted).

- 2) **Apenas muda de direção:** diz respeito aquele aluno que considera, acertadamente, que a sombra solar projetada sobre os objetos ao meio-dia em Caxias do Sul, muda de direção em relação às 10:00 hs. Entretanto, não menciona se essa projeção é menor ou maior, tampouco, demonstra ter uma noção explícita sobre a altura do Sol.

“Ao meio-dia a sombra projetada sobre esses objetos [se comparado à projeção das 10:00 hs] muda de direção, pela movimentação do Sol e da Terra.” (Tor).

- 3) **Some:** diz respeito aqueles alunos que consideram, erroneamente, que a sombra solar ao meio-dia em Caxias do Sul, some (desaparece), dando a entender que o Sol está em sua altura máxima e sobre a vertical do lugar, no zênite. Os alunos parecem possuir uma noção explícita sobre a altura do Sol, pois mencionam expressões como: “bem em cima” (Leo), “no centro” (Mel), “em cima de nós” (Pri) para fazer referência à localização do Sol no céu.

“Somem, pois o sol do meio-dia fica bem acima”. (Leo).

“Não, elas somem, pelo fato do sol estar no ‘centro’”. (Mel).

“Ao meio-dia a sombra se localiza em cima de nós, sem ter uma direção, após um tempo ela muda de direção ao inverso das 10:00 h, por motivo de rotação da Terra”. (Pri).

- 4) **Linha do equador:** diz respeito aqueles alunos que usam ou parecem estar utilizando a região da linha do equador e não a de Caxias do Sul para relacionar a movimentação da sombra solar.

“Não, ao meio-dia se estamos no equador a nossa sombra é projetada reto de cima para baixo sem fazer sombras, como se o sol estivesse na vertical.” (Gil).

“Na teoria ela deveria sumir, mas na realidade ela simplesmente diminui.” (Pet).

- 5) **Muda de direção e, não some:** diz respeito aqueles alunos que consideram, acertadamente, que a sombra solar projetada sobre os objetos ao meio-dia em Caxias do Sul muda de direção em relação às 10:00 hs. Além disso, reforçam que a sombra não some (não desaparece). Nesta categoria alguns alunos (Rob e Kel) também parecem possuir uma noção explícita da altura do Sol.

“Conforme as horas passam a sombra se move sentido horário como um relógio. No meio-dia o sol estará reto sobre os objetos fazendo uma pequena sombra sob o mesmo.” (Rob).

“As sombras quase somem pois ao meio-dia a luz do sol está ao alto praticamente no “meio do céu”. Porém às 10:00 h o sol ainda está a leste, projetando portanto as sombras para o lado contrário.” (Kel).

“Ao meio-dia as sombras mudam de direção, a sombra só some quando não há luz no espaço determinado.” (Bel).

“A sombra muda de direção, mas não some. Ela a cada hora que passa, vai saindo do lugar que estava, quando a vimos pela primeira vez.” (Fra).

Ao analisarmos as cinco categorias de respostas podemos constatar que apenas um pequeno número de alunos (quatro ao total) nos pareceu ter um entendimento razoável, alguns com alguma limitação, sobre a mudança de posição e a variação do comprimento da sombra solar ao longo do dia para Caxias do Sul. Embora nenhum deles tenha relacionado explicitamente esse conjunto de acontecimentos ao movimento de rotação da Terra ou ao movimento aparente do Sol, mesmo assim, apresentaram uma noção explícita sobre a sua altura, dando a ideia de que ao meio-dia ele se encontra em sua altura máxima e no zênite, ou próximo a ele, ao usar expressões como: *o sol estará reto sobre os objetos* (Rob) ou ainda *sol está ao alto praticamente no “meio do céu”* (Kel). As respostas destes estudantes encontraram-se dentro da categoria **Muda de direção e, não some.**

O caso de Rob

Rob, por exemplo, parece ter um conhecimento diferenciado dos demais alunos em relação a esta questão. Isto se justifica na sua argumentação em resposta a pergunta opcional do questionário onde perguntamos se o aluno tinha algum conhecimento anterior sobre o Sol ou se alguém de sua família possuía alguma atividade diretamente relacionada à estrela e que pudesse influenciá-lo nesse conhecimento. **Rob** foi o único aluno que em sua resposta nos pareceu ter alguma influência mais direta e o único que já havia realizado uma experiência com um gnômon na praia, embora, não mencionasse qual era o local dessa praia (se se localizada no estado do Rio grande do Sul ou em algum estado do Nordeste ou do Norte, por exemplo).

Resposta de **Rob** à pergunta opcional do questionário:

“Meu pai é engenheiro civil. (Aprendi com meu pai) na praia a se orientar pela posição do sol para saber o horário colocando um palito cravado na areia vendo a sombra em que posição está sabendo assim a hora”. (Rob).

Resposta de **Rob** à pergunta que estamos nos referindo:

“Conforme as horas passam a sombra se move sentido horário como um relógio. No meio-dia o sol estará reto sobre os objetos fazendo uma pequena sombra sob o mesmo.” (Rob).

Este fato nos levou a estabelecer duas conclusões:

A primeira: na concepção de **Rob** o Sol ao meio-dia está *“reto sobre os objetos”*, dando a entender que ele se encontra na vertical do lugar, no zênite para o observador, fazendo *“uma pequena sombra sobre o mesmo [objeto]”*. Se sua resposta se refere a Caxias do Sul ou algum outro lugar mais litorâneo, alguma praia do RS, por exemplo, ela não é aceitável por dois motivos: I) Caxias do Sul ou regiões praieiras no RS, regiões em que a latitude está variando entre: (27° norte) > (34° sul) é possível observarmos a mudança da direção da sombra solar no sentido anti-horário em qualquer época do ano, e não horário como **Rob** teria mencionado. II) Entre estas latitudes o Sol não chegará a atingir a vertical do lugar (o zênite), não ficando *“reto sobre os objetos”* em nenhum momento, conseqüentemente, a sombra solar terá uma projeção no solo e não *“sobre o próprio objeto”* como **Rob** parece estar afirmando⁴⁴.

Entretanto (essa é a segunda conclusão), se **Rob** estiver considerando alguma praia na região da linha do equador da Terra (latitude 0°), considerando os meses que vão de setembro a março, a sombra solar projetada sobre os objetos se movimenta no sentido horário, confirmando a sua primeira afirmação. Porém, o Sol apenas atinge a vertical do lugar (no zênite), nos equinócios de primavera e outono e não em qualquer época do ano. A resposta de **Rob** apresentaria ainda essa limitação.

O caso de Kel

Kel também apresenta uma boa percepção da altura do Sol quando ao meio-dia, pois afirma que *“As sombras quase somem pois ao meio-dia a luz do sol está alto praticamente no*

⁴⁴ O estado do RS como um todo não faz parte das regiões tropicais da Terra, aquelas regiões localizadas entre as latitudes de aproximadamente - 23,5° e + 23,5°, em que o Sol passa pelo zênite duas vezes ao ano.

“*meio do céu*”. Se considerarmos que ela estava querendo dizer que “o Sol está no alto” ao dizer que “*a luz do sol está alto*” podemos afirmar que a aluna tem uma boa noção sobre a altura do Sol, que em sua concepção ele não está exatamente no “meio” ou “no centro” como alguns alunos responderam, mas, quase ou “*praticamente no ‘meio do céu’*”. Mesmo assim, há a mesma limitação que apareceu na resposta de **Rob**, o Sol ao meio-dia em Caixas do Sul chega mais próximo da vertical do lugar apenas no Solstício de Verão. Portanto sua resposta também é limitada e não pode ser generalizada para as outras estações do ano.

É conveniente mencionarmos também o caso de **Gil** classificado dentro da categoria **linha do equador**.

O caso de Gil

É interessante notar no caso de **Gil** a sua descrição sobre o movimento da sombra solar para a região da linha do equador da Terra. Embora ele não leve em consideração a região de Caxias do Sul parece demonstrar um razoável conhecimento das noções astronômicas, mesmo apresentando limitações. Conforme o seu ponto de vista “*ao meio-dia se estamos no equador a nossa sombra é projetada reto de cima para baixo sem fazer sombras, como se o sol estivesse na vertical*” (Gil). Porém a sua resposta apenas pode ser considerada correta para o período dos equinócios, momento em que o Sol ao meio-dia solar atinge a direção da vertical do lugar para as regiões da linha do equador.

Contudo, podemos concluir que a grande maioria dos alunos não possuía uma boa noção sobre a movimentação da sombra solar e a variação da sua projeção ao longo do dia claro e ao longo do ano, embora não tenhamos feito a referência “ao longo do ano” no enunciado da pergunta.

Foi interessante notar que apenas uma aluna mencionou explicitamente o movimento de rotação da Terra como a principal causa para a movimentação da sombra solar. Entretanto, **Pri** afirmou erroneamente que a sombra solar desaparecia ao meio-dia, sendo sua resposta classificada na categoria **some**.

Podemos reforçar ainda que nenhum aluno (a) manifestou-se sobre a possível direção da projeção da sombra solar por ocasião do meio-dia solar.

Não podemos afirmar que os alunos participaram (ou não) de alguma atividade escolar específica para tratar sobre a movimentação da sombra solar ao longo do dia e do ano para Caxias do Sul ou outras regiões. Parece-nos que seus conhecimentos prévios sobre o assunto têm uma maior ligação com o que observam no cotidiano. Em algumas respostas, entretanto, é

possível identificarmos a tentativa de utilização de noções astronômicas para gerar as explicações.

4.1.3 A duração do dia claro

Terceira pergunta: *A duração do dia claro (número de horas em que há luz do Sol) muda ao longo do ano? Considere a região em que você mora. Comente sua resposta.*

Com essa pergunta procuramos identificar as concepções prévias dos alunos no que diz respeito à variação do período de luz solar ao longo do ano, ou o período em que o Sol permanece acima do plano do horizonte ao longo do ano.

Analisando o conjunto de respostas chegamos ao desenvolvimento de duas categorias: a primeira, diz respeito aqueles alunos (quatro ao total) que afirmaram que o número de horas em que há luz do Sol ao longo do ano **não muda**, continuando sempre o mesmo. A segunda categoria diz respeito aqueles alunos (seis ao total) que afirmaram o contrário, o número de horas em que há luz do Sol ao longo do ano **muda**, e essa mudança, essa diferença para alguns alunos é bastante perceptível quando comparado o período do inverno ao período do verão. Um aluno não respondeu diretamente a pergunta.

- 1) **Não muda:** os alunos pertencentes a essa categoria afirmam, erroneamente, que a duração do dia claro (número de horas em que há luz do Sol ao longo do ano) é sempre a mesma.

As respostas que a nosso ver merecem destaque dentro dessa categoria são aquelas em que há certa confusão entre o horário do nascimento do Sol e o tempo em que o mesmo permanece acima do plano do horizonte. É o caso de **Rob** e de **Bel**.

O caso de Rob

Rob considera, acertadamente, que o horário do nascimento e do ocaso do Sol ao longo do ano nem sempre é o mesmo, porém, erroneamente, parece acreditar que o tempo em que o Sol permanece acima do plano do horizonte do observador é o mesmo em todas as estações.

“Não muda, a única coisa que muda é o horário que o sol nascerá e que se ponha dependendo da estação do ano”. (Rob).

O caso de Bel

Bel, por sua vez, tem uma leve impressão de que no verão o Sol demora mais tempo para se pôr, mas não sabe se esse acontecimento se deve apenas ao horário de verão, isto é, ao adiantamento do fuso horário em uma hora adotado em algumas regiões do país como no Rio grande do Sul, por exemplo, para fins de economia de energia elétrica. Ou se há ainda algum outro fator.

“No verão, me parece, que a noite demora mais para chegar, mas não sei se é só em função do horário de verão.” (Bel).

Nas outras respostas não parece haver a mesma confusão, talvez por que não há o mesmo estabelecimento de relações. É o caso de **Ted** e de **Fra**.

“Pessoas dizem que os dias estão ficando mais curtos conforme os anos passam. Mas não notei diferença alguma.” (Ted).

“Na minha opinião não [muda], pois quando acordo o sol está se projetando para frente da casa, e quando chega meio-dia ou mais o sol está no norte da casa.” (Fra).

2) **Muda**: os alunos pertencentes a esta categoria afirmam, acertadamente, que a duração do dia claro (número de horas em que há luz do Sol ao longo do ano) muda, se altera, não sendo sempre a mesma. As justificativas para a percepção dessa mudança estão ligadas, na grande maioria dos casos, à diferença do período de luz solar em um dia típico de inverno e em um dia típico do verão. Entre todas as respostas enquadradas nessa categoria, a que merece um destaque especial é a de **Pet**, que busca dar uma explicação mais abrangente que as demais explicações para esse fenômeno (embora a descarte no final!).

O caso do Pet

Pet percebe que a duração do dia claro (período em que o Sol está acima do plano do horizonte) e a duração da noite (período em que o Sol está abaixo do plano do horizonte) não são as mesmas durante o ano. Além disso, ele suspeita inicialmente que esse acontecimento

pode ter alguma relação com a região em que se encontra o observador: “*com a região em que moramos*”, porém, no final ele rejeita tal hipótese ao dizer: “*mas acredito que não*”.

“Sim [muda], a duração do dia e da noite mudam consideravelmente durante o ano. Não sei se isso tem relação com a região em que moramos, mas acredito que não.” (Pet).

Sabe-se que o tempo em que o Sol permanece acima ou abaixo do plano do horizonte ao longo do ano, ocasionando o que popularmente chamamos de “dia claro” e “noite”, respectivamente, depende da região em que se encontra o observador. Se o observador está na região da linha do equador da Terra, por exemplo, durante o ano todo poderá perceber o dia claro e a noite com aproximadamente 12 horas de duração. Se estiver na região do Polo Sul no verão, por exemplo, a duração do dia claro será maior que 24 horas e não haverá noite. Assim, dependendo da latitude em que se encontra a região, o tempo em que o Sol permanece acima e abaixo do plano do horizonte se altera consideravelmente ao longo do ano. O modelo do MAS permite que se construam respostas precisas para todas estas situações.

Nos outros casos a percepção da variação do número de horas em que há luz do Sol é relacionada às estações do ano, mais particularmente ao verão e ao inverno. Apenas *Mel* não parece justificar da mesma forma que os demais.

“Sim [muda], no inverno tende o sol nascer e se por mais cedo perante ao verão.” (Gil).

“No RS as estações do ano são (ou já foram) bem demarcadas. Portanto é bem visível que, no inverno, o sol aparece por menos horas do que no verão.” (Kel).

“Muda, no inverno os dias são mais curtos e no verão são mais longos.” (Tor).

“Muda, no verão o dia é mais longo, no inverno mais curto.” (Leo).

“Sim [muda]. Na minha casa no verão o sol bate em um lado de casa, quando muda a estação, o sol bate em outro lado.” (Mel)

Podemos concluir que pouco mais da metade dos alunos (seis ao total) parece ter uma noção razoável sobre a duração do dia claro (o número de horas em que há luz solar) para sua região, pois conseguem justificar as suas percepções ao relacionar os dias de inverno (mais

curtos) com os dias de verão (mais longos). Somente *Mel* não justifica dessa maneira, permitindo-nos apenas entender que a duração do dia muda ao longo do ano.

Na grande maioria das respostas podemos observar que os alunos parecem estar utilizando ideias próprias, elaboradas em seu próprio cotidiano, provindas de uma eventual observação do céu ou até mesmo de conversas com seus amigos e familiares e não ideias que pareçam originar-se propriamente de uma atividade de ensino, ideias baseadas em conceitos.

4.2 AMBIENTES DE APRENDIZAGEM, OBJETOS-MODELO DIDÁTICOS E MODELIZAÇÕES: UM RESUMO DAS ATIVIDADES

Neste subcapítulo apresentaremos uma descrição sucinta, seguida de uma análise e interpretação, de como foi organizado cada ambiente de aprendizagem e como se deu a interação: professor, alunos e objetos-modelo didáticos. Em cada um dos ambientes algumas das concepções prévias dos alunos que apareceram nos questionários e até mesmo no decorrer da pesquisa foram novamente encontradas e confrontadas.

Em sala de aula, começando pela leitura de um *texto do saber* (CHEVALLARD, 2005) contendo um breve relato histórico sobre como o homem neolítico começou a desenvolver as primeiras observações do Sol e como desenvolveu as suas primeiras tabelas de medidas para a duração do dia claro, os alunos foram levados à análise e ao debate de duas noções astronômicas importantes em nosso estudo, a de esfera celeste e a de plano do horizonte, apresentadas em suas formas “objeto-modelo científico” e “objeto-modelo didático”, respectivamente. Essas noções inicialmente deveriam ser debatidas entre o pesquisador e os alunos, para serem posteriormente recuperadas e transferidas para outros objetos-modelo didáticos em outros ambientes de aprendizagem: no planetário inflável e na sala de aula, durante as atividades de modelização.

Em seguida, no laboratório de física da escola, desenvolvemos uma atividade de modelização do sistema Sol-Terra, por meio de um retroprojektor (Sol) e por um globo terrestre (Terra). Nesse ambiente de aprendizagem aproveitamos para desenvolver com os alunos o ponto de vista heliocêntrico e para debater a respeito da principal causa das estações do ano, desmistificando aquelas concepções de que a causa desse fenômeno natural se deve à maior ou menor aproximação da Terra ao Sol. Também aproveitamos para debater sobre o

movimento aparente do Sol, como consequência do movimento de rotação e translação da Terra.

Depois, no museu de ciências da Universidade de Caxias do Sul (UCS) realizamos uma sessão no planetário inflável onde trabalhamos na identificação dos quatro pontos cardeais através do Cruzeiro do Sul e na simulação do movimento anual aparente do Sol para três diferentes regiões: Caxias do Sul ($\sim 30^\circ$ ao sul), Linha do equador, Macapá (0°) e Polo Sul (90°). Também aproveitamos para desenvolver com os alunos uma primeira análise a partir de um ponto de vista geocêntrico.

Por fim, voltamos à sala de aula para a modelização do modelo do MAS. Nessa atividade cada aluno foi estimulado a construir o seu próprio modelo e com ele realizar algumas previsões e explicações dos fenômenos naturais em estudo. Entre eles, o movimento aparente do Sol para Caxias do Sul ($\sim 30^\circ$), Linha do Equador (0°), Polo Sul (90°) e Londres ($\sim 52^\circ$ HN). Ou seja, realizamos uma atividade semelhante à desenvolvida no planetário inflável, com a diferença que os alunos foram desta vez desafiados a prever a duração aproximada do dia claro para algumas dessas regiões, a partir da escala de tempo do modelo MAS. Os resultados obtidos foram em seguida comparados aos de uma tabela gerada a partir de um modelo computacional. Essa comparação permitiu-lhes perceber a potencialidade do modelo do MAS na previsão da duração aproximada do dia claro. Também aproveitamos para desenvolver uma situação hipotética na qual os alunos, utilizando o modelo, teriam que prever qual a melhor localização de uma casa em Caxias do Sul de tal modo em que a parte da frente recebesse a maior incidência anual de raios solares.

4.2.1 Na sala de aula: o texto do saber

Após a aplicação do questionário de perguntas abertas, distribuímos aos alunos um texto contendo um breve relato histórico sobre como o homem neolítico (aprox. 8000 a.C) realizou as primeiras observações do movimento do Sol. Essas observações foram ao que tudo indica feitas através de um gnômon, espécie de estaca vertical fincada ao solo que durante o dia projetava a sombra solar. De acordo com Smole & Diniz (2005) foi relacionando o comprimento dessa sombra com o comprimento do gnômon que o homem primitivo construiu as primeiras tabelas para a duração do dia⁴⁵.

Nossa intenção com essa atividade de leitura de texto era a de realizar com os alunos, numa etapa posterior, um experimento com um gnômon no pátio da escola para verificarmos

⁴⁵ O texto do saber que foi trabalhado com os alunos está disponível no anexo B.

a movimentação da sombra solar, estabelecendo assim algumas determinações da altura angular do Sol e determinando também os quatro pontos cardeais. Entretanto, na semana prevista para esta atividade o tempo esteve chuvoso não restando outra escolha a não ser a de pular essa etapa.

Na sequência do texto continuamos com o relato histórico até chegar à civilização grega (600 a.C – 400 d. C, aproximadamente), da qual surgiu, segundo Oliveira Filho e Saraiva (2000), a noção de esfera celeste. De acordo com os autores, os gregos, ao fazerem suas observações do céu, imaginavam-se envoltos por uma imensa esfera contendo em sua superfície uma grande quantidade de estrelas e constelações; no centro dessa esfera estava a Terra. Foi a partir dessa ideia inicial de esfera celeste e do movimento dos astros no céu que a astronomia moderna veio a estabelecer os seus diferentes sistemas de coordenadas.

Pensamos em apresentar esse breve e limitado contexto histórico aos alunos para lhes dar uma ideia de como o estudo do movimento dos astros no céu, principalmente o do Sol, já é algo que vem instigando o homem há milhares de anos e que a quantidade de histórias e de problemas que surgiram nesse tempo é tamanha que se torna impossível recuperar em poucos encontros. Mas nada impediria a realização de uma pesquisa posterior por todo aquele que assim manifestasse interesse. A nosso ver, de um lado, foi uma tentativa de apresentarmos uma noção histórica introdutória aos alunos sobre o que estaríamos trabalhando em nossa investigação: o movimento aparente do Sol. Por outro lado, foi uma primeira tentativa de tratarmos a noção de esfera celeste e a noção de plano do horizonte, visto que ambas estariam presentes nos objetos-modelo didáticos que estaríamos tratando nos próximos ambientes de aprendizagem no decorrer da pesquisa.

Após um tempo destinado à leitura, começamos a trabalhar em cima da noção de esfera celeste e da noção de plano do horizonte. O primeiro é um objeto-modelo conceitual da esfera celeste (figura 5). O segundo é também um objeto-modelo conceitual da esfera celeste, porém já com elementos de um objeto-modelo didático, pois, a ele são acrescentados elementos mais intuitivos, tais como a representação de estrelas na superfície da esfera e a representação do observador hipotético sobre o plano do horizonte (figura 6). Mas é importante frisar que nesse objeto-modelo didático tanto o observador quanto as estrelas são elementos arbitrários e têm um caráter apenas ilustrativo, dando a ideia de que há um observador em alguma região do planeta Terra a observar as estrelas no céu. As estrelas não estão “grudadas” na esfera celeste como a representação pode levar a pensar e tampouco estão a uma mesma distância do observador. Indicam apenas posições arbitrárias e hipotéticas.

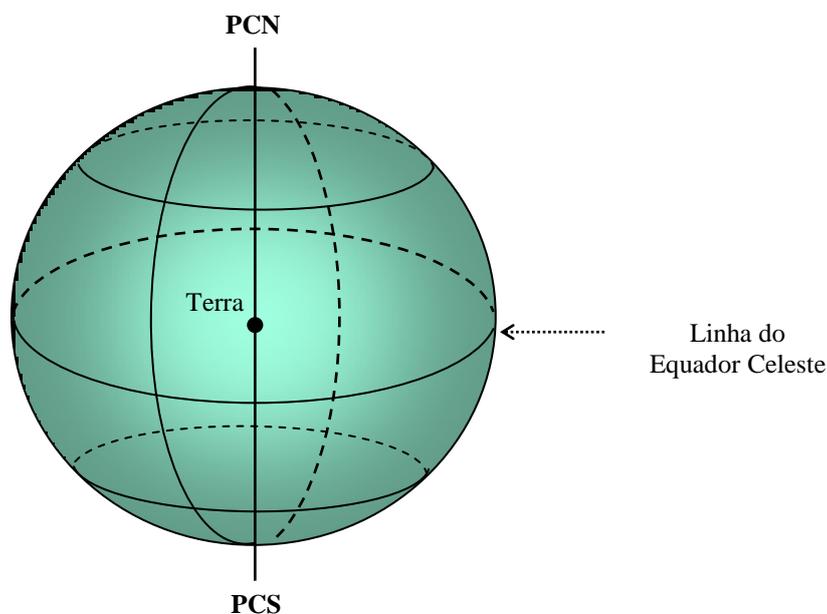


Figura 5 - Representação da esfera celeste. Ao centro da esfera celeste, a Terra é representada por um ponto. E a projeção da linha do equador da Terra na esfera celeste é a linha do equador celeste. Nos dois pontos opostos extremos da esfera, o prolongamento do eixo imaginário de rotação da Terra materializa os polos celestes norte (PCN) e sul (PCS).

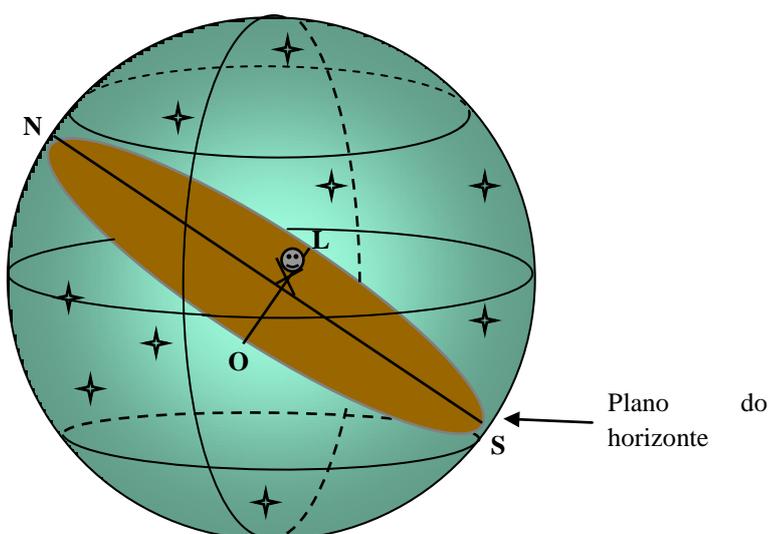


Figura 6 - Representação da esfera celeste e do plano do horizonte ⁴⁶ para um observador localizado em uma determinada região do planeta Terra. As estrelas são representações apenas ilustrativas e arbitrárias, indicam posições arbitrárias de estrelas no céu e, não estão incrustadas na esfera celeste. A representação está fora de escala.

O pesquisador solicitou que os alunos comentassem então o que estavam ou não entendendo nas figuras (5 e 6) presentes no texto. Poucos alunos se manifestaram de imediato.

⁴⁶ Plano do horizonte: é o plano tangente à Terra e perpendicular à vertical do lugar (zênite) em que se encontra o observador. A vertical do lugar é definida por um fio a prumo. Considera-se que o plano do horizonte intercepta a esfera celeste em um círculo máximo. (OLIVEIRA FILHO & SARAIVA, 2000. p.10)

Alguns alunos pareciam esperar os comentários dos outros alunos para então opinar. A seguir reproduziremos partes do debate que se originou em sala de aula durante a análise dessas representações. Em algumas falas dos alunos e do pesquisador, todas em itálico, complementamos “[entre colchetes]” as ideias que os interagentes pareciam estar procurando expressar. Quando na fala dos alunos aparecem (...) “três pontinhos”, significa apenas que eles deram uma pausa no comentário para pensar e logo depois voltar a comentar novamente.

Sobre a esfera celeste

Para *Pet* o objeto-modelo de esfera celeste posta na figura 5:

“É uma representação da visão que temos do céu a partir da Terra... [a visão que temos] dos planetas das estrelas, do que agente enxerga e não de como alguns colocam, porque essa questão da esfera celeste não é uma coisa real! Ela não existe, mas a gente enxerga.” (Pet).

A concepção de *Pet* é bastante plausível: a esfera celeste é uma representação hipotética. Ela não é uma bolha cristalizada suspensa no céu como acreditavam os povos antigos e que foi dominante na ciência até o século XVII. Existe apenas na abstração dos astrônomos. Consiste numa verdadeira idealização da realidade, um objeto-modelo, na visão de Mário Bunge (1974). Entretanto, na fala do aluno continha um problema que convém investigar.

Perguntou o pesquisador:

“Como assim não existe mas a gente enxerga? Poderia nos explicar de outra forma?” (pesquisador).

Pet respondeu:

“Não é uma coisa real, tipo assim, não existe uma esfera celeste, mas a gente tem a impressão de que exista por causa da nossa visão. A gente olha para o céu e a gente tem a impressão de que o céu está se mexendo.” (Pet).

Embora pudéssemos perceber na visão de *Pet* um entendimento da esfera celeste muito coerente, uma esfera hipotética em movimento, nem todos seus colegas pareciam apresentar um entendimento semelhante. Enquanto alguns estavam discutindo a representação do nosso planeta (o ponto) como ocupando o centro da esfera, outros pareciam entender o

contrário: a Terra por um instante passava a ser considerada como ocupando o centro do Universo. Concepção que é logo refutada por **Kel**, numa breve advertência:

“Acho que ela está no centro pra nós, não pro Universo! Para nós o centro é o centro, entenderam?” (Kel).

Percebendo as opiniões contraditórias a respeito do objeto-modelo o pesquisador interveio:

“Mas ela [a Terra] está no centro do quê afinal se não é o do Universo?” (pesquisador).

Kel responde:

“Da esfera celeste!” (Kel).

Pri então argumenta:

“Porque as coisas giram ao redor de nós e não a gente que gira ao redor de tudo. (Pri)”.

E **Kel** contesta inevitavelmente a afirmação de **Pri**:

“Não! Tipo a gente vê... Tipo... A gente vê que as coisas giram ao redor de nós, mas na verdade a gente que gira ao redor das coisas!” (Kel).

A partir desse momento travaram-se grandes debates a respeito de as coisas girarem a nosso redor ou o contrário. Esse debate, num contexto de senso comum, permanece vivo nos dias atuais. É uma espécie de “versão atual” das concepções Ptolomaicas, colocadas par a par com as concepções Copernicanas a respeito do sistema solar. Elas são, num certo sentido, o “eco” de uma mudança de paradigma na ciência, ocorrida entre a idade média e a moderna. (MORIN 2005, p. 10).

Percebendo que tinha sido contestada, **Pri** tenta dar um exemplo para seu ponto de vista sem perceber que em suas palavras estava a confirmação do ponto de vista de **Kel**.

“É que nem andar de trem, de carro... As vacas é que parecem estar correndo!” (Pri).

É curioso perceber que *Pri* postula agora que as “*vacas é que parecem*” estar andando como quando alguém as avista no campo através de um carro ou de um trem em movimento. Diferentemente do que tinha afirmado anteriormente quando disse que as coisas giram ao nosso redor e não ao contrário, agora ela parece estar percebendo através da analogia “carro-vaca” a relatividade entre os movimentos “Terra-Sol”. Ela parece então mudar de opinião e aderir à visão de *Kel*, somos nós que giramos ao redor das coisas e não as coisas que giram ao nosso redor.

Enquanto os alunos não encontravam um consenso, o pesquisador solicitou a opinião de *Leo*, que até então parecia alheio as discussões, talvez procurando entender os pontos de vista de *Pet*, *Kel* e *Pri* ao afirmar:

“Eu... Eu concordo com o que eles falaram, eu acho que é mais difícil assim [de entender que a Terra se movimenta ao redor do Sol]... Porque nós vemos tudo girar ao nosso redor, é o nosso ponto de vista e não deixa de estar errado né!” (Leo).

E *Leo* está certo. Se considerarmos nossa experiência de olhar o céu e os astros a partir da superfície da Terra de um ponto de vista geocêntrico, o “movimento” que eles fazem, a nossa experiência imediata nos garante que não estamos errados. São bem mais fortes as evidências de que os astros (o Sol, por exemplo) giram ao nosso redor e não ao contrário. E mais: pensar no Sol em movimento em torno da Terra pode levar a “previsões” corretas, mas nem sempre. Uma das previsões “corretas” poderia ser a duração do período de luz solar ao longo do ano, em determinado local do planeta. O modelo do MAS “se sai muito bem” nesse tipo de previsão. Mas outra, que poderia ser “extraída” desse, e que falharia grosseiramente seria a de que o Sol se move mais próximo da Terra no inverno e mais longe dela no verão. Há uma inconsistência interna nesse raciocínio: se o Sol está mais perto, deveria ser mais quente, e não mais frio. É certo que a distância Terra-Sol varia ao longo do ano, mas essa variação é proporcionalmente pequena e não é responsável pelas estações do ano. É o que tentaríamos debater no laboratório de física através do modelo Terra-Sol mais a frente.

Sobre o plano do horizonte

O pesquisador solicitou então que os alunos comentassem o que estavam entendendo ou não sobre o plano do horizonte (figura 6).

“E o que seria o plano do horizonte para vocês?” (pesquisador).

“Para mim seria o início.” (Pri).

“Ou o fim.” (Kel).

“Ou o fim!” (Pri).

Pet então busca elaborar uma resposta mais convincente:

“Não! Isso mostra como a gente enxerga, nossa visão plana daqui da Terra... Tipo assim... Como sei lá... Como se agente imaginasse uma pizza ali em cima da Terra... Como se a gente abrisse a Terra e ela ficasse assim, no plano do horizonte.” (Pet).

Kel refaz sua opinião:

“Tipo assim... Eu acho que é um plano que foi feito para determinar um espaço... Mais ou menos... Tipo assim... Como foi estudado [pelos astrônomos]. Eu acho que eles tiveram que realizar algumas pesquisas para chegar nisso... Para estudar melhor como era, mas não é exatamente...” (Kel).

Os demais alunos entraram em conversas paralelas sem deixar **Kel** concluir totalmente o seu raciocínio. Enquanto a turma parecia tentar entender o objeto-modelo da figura 6, **Kel** então o concluía:

“... É uma representação... Eu acho que é uma representação.” (Kel).

Ao perceber que, ao contrário de **Kel**, alguns alunos pareciam entender que a esfera celeste não era fruto de uma ficção, de uma invenção, de uma idealização da realidade, o pesquisador os provocou:

“Bom! Então a esfera celeste vai até onde? Até onde vai a esfera celeste?” (pesquisador).

“Até onde tu quer observar!” (Pet)

“Até onde acabar né!” (Fra).

“Eu acho que ela não tem fim... É só o que a gente consegue representar do que a gente imagina.” (Pri).

“Eu acho que ela tem fim sim!” (Rob).

Após esses comentários o restante dos alunos parecia aderir ao ponto de vista de **Pri**. E, defendendo que a esfera celeste não tinha um limite específico, contestavam a opinião de **Rob** exclamando que, já que ele enxergava o fim, que mencionasse até onde ela iria.

Percebendo que alguns alunos pareciam entender que a esfera celeste não possuía um limite específico o pesquisador aproveitou para perguntar sobre a sua função.

“Levando em consideração que a esfera celeste não tem um limite específico para que serve ela então?” (pesquisador).

A turma se mostrava dividida nas repostas a essa pergunta. Enquanto alguns alunos pareciam mencionar que a esfera celeste servia para observar as estrelas, outros nada responderam. Outros ainda preferiram escutar os argumentos dos colegas para só depois se pronunciar. **Pet** foi o único que abertamente declarou:

“Para a observação da astronomia... Da posição das estrelas a partir da Terra.” (Pet).

Aproveitando os comentários anteriores, principalmente o de **Pet** e, percebendo que a turma estava um pouco dividida nas argumentações, questionando o pesquisador sobre o porquê de não abrir o jogo de uma só vez e fornecer logo a resposta correta. E, além disso, percebendo que as discussões estavam tomando outra dimensão, o pesquisador comentou sobre a estrutura abstrata da esfera celeste, sobre o plano do horizonte e as suas funções.

A partir desses comentários o pesquisador aproveitou para colocar em pauta uma questão hipotética em que os alunos teriam que imaginar duas pessoas, uma no Hemisfério Sul, em Caxias do Sul, latitude aproximada 30° e outra, no Hemisfério Norte, em Washington, latitude aproximada 39°, por exemplo, perguntando-lhes se essas pessoas enxergariam a mesma região do céu à noite.

Os poucos alunos que se pronunciaram afirmaram acertadamente que essas pessoas poderiam não enxergar a mesma região do céu uma vez que estariam olhando para ele a partir de diferentes regiões da Terra. Porém, outros alunos não opinaram e outros mais solicitaram a intervenção do pesquisador.

Com a intenção de dar um retorno aos alunos o pesquisador desenhou no quadro negro esta questão hipotética onde representou a Terra e os observadores nos diferentes hemisférios, em seus respectivos planos do horizonte. Nessa representação foram também desenhadas, de

forma arbitrária, algumas estrelas (posições 1,2 e 3) para mostrar que haveria situações em que ambos os observadores enxergariam a mesma estrela e outras situações que apenas um deles a enxergaria. O desenho no quadro negro foi mais ou menos parecido com o da figura 7.

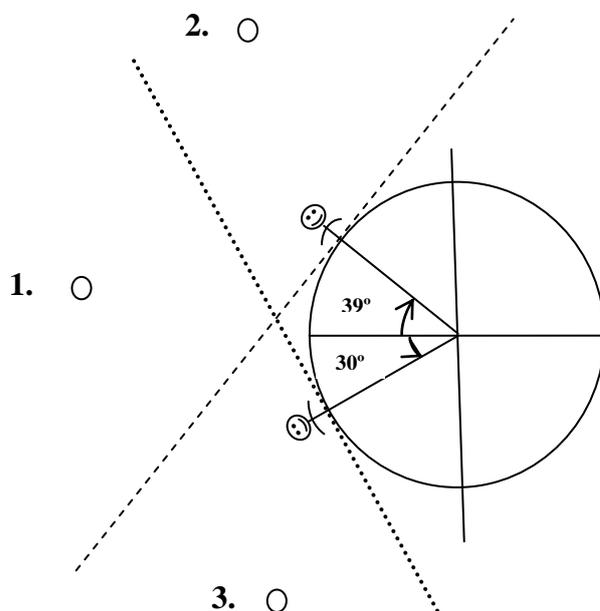


Figura 7 – Representação de dois observadores em diferentes pontos da superfície do planeta Terra em seus respectivos planos do horizonte (em perfil). O primeiro observador localizado em Caxias do Sul (Hemisfério Sul) a aproximadamente 30° da linha do equador está observando as estrelas das posições 1 e 3. Enquanto o segundo observador localizado em Washington (Hemisfério Norte) à aproximadamente 39° da linha do equador está observando as estrelas nas posições 1 e 2. Representação fora de escala.

Durante a representação feita no quadro negro e através dos debates que a partir daí surgiram foi interessante a fala de **Pet** que disse já ter ouvido falar sobre a constelação da “ursa maior” que não podia ser observada em algumas regiões do hemisfério sul. **Rob** mencionou em seguida que, da mesma forma, o Cruzeiro do Sul não poderia ser observado em algumas regiões do hemisfério norte. Essas ideias tiveram origem, segundo eles mesmos mencionaram, de aprendizagens que desenvolveram na sessão do planetário da Universidade Federal de Porto Alegre (UFRGS).

Com essa representação tentamos apresentar aos alunos uma noção do plano do horizonte e da região do céu por ele limitada. Essa noção seria retomada mais tarde em outros ambientes de aprendizagem, na sessão do planetário inflável onde simularíamos o movimento aparente do Sol para três diferentes regiões: Caxias do Sul, linha do Equador e Polo Sul e, depois, em sala de aula, durante a modelização do modelo do MAS.

Conseguimos perceber que alguns alunos tiveram dificuldades para compreender os

conceitos de esfera celeste e plano do horizonte presentes nos objetos-modelo disponibilizados no texto; ocorreram, entretanto, algumas exceções como foi o caso de *Pet*, *Fra* e de *Kel* mencionado anteriormente. Os demais alunos pareciam não compreender a esfera celeste e o plano do horizonte como uma representação hipotética e idealizada da realidade, somente após a intervenção do pesquisador isso pareceu ter ficado um pouco mais claro.

Nos próximos ambientes de aprendizagem esses objetos-modelo analisados voltariam a ser trabalhados e representados, porém, não mais no papel, em sua forma bidimensional; seriam representados em uma forma mais concreta, tridimensional.

Antes de terminar essa atividade de leitura e análise dos objetos-modelo procuramos fornecer aos alunos uma ideia de como seria desenvolvido o nosso próximo ambiente de aprendizagem no laboratório de física da escola, ocasião em que estaríamos trabalhando com o modelo Sol-Terra. Aproveitando desse momento final o pesquisador perguntou aos alunos se eles sabiam explicar qual era a causa das estações do ano, o que ocasionou um novo debate:

“Pessoal! Vocês saberiam me dizer qual é a causa das estações do ano?”
(Pesquisador).

Pri prontamente respondeu:

“As estações do ano ocorrem devido ao afastamento ou aproximação da Terra ao Sol” (*Pri*).

Segundo o ponto de vista de *Pri*, ao realizar o seus principais movimentos, de rotação e de translação, a Terra se afasta e se aproxima do Sol em determinados momentos, causa pela qual ocorrem as estações do ano. Ideia que por sinal tem sido muito comum entre alunos e professores do ensino básico, conforme constatamos na literatura astronômica (BAXTER, 1989; BARRABÍN, 1995; BISCH, 1998; LEITE, 2002; PINTO & FONSECA, 2006). Mas a concepção de *Pri* logo era contestada por *Leo*.

Segundo o ponto de vista de *Leo* não é o afastamento nem a aproximação da Terra ao Sol que causa as estações do ano e sim a *“inclinação do eixo”* (*Leo*) imaginário de rotação da Terra.

“... Pois de qualquer jeito... Quando aqui [no hemisfério sul] é inverno no hemisfério norte é verão... Daí se fosse afastamento [sem a inclinação] seria

ambos inverno.” (Leo).

Leo apresenta uma concepção bem mais elaborada, as estações do ano não se devem ao maior ou menor afastamento da Terra ao Sol e sim à inclinação do eixo de rotação da Terra.

Observando que o restante da turma permanecia calado, o pesquisador então perguntou a todos sobre quem estava certo: **Pri** ou **Leo**. As opiniões se encontravam divididas. Parece que nem todos estavam de acordo com **Leo**, que apresentava uma concepção bem próxima da concepção científica astronômica. Alguns pareciam estar de acordo com a opinião de **Pri**. Porém, a maioria parecia aderir à opinião de **Pri** ou de **Leo** como alguém que adere a um partido e não como alguém que adere a uma opinião tentando compreendê-la cada vez melhor e, eventualmente, defendê-la. Sem se darem ao trabalho de elaborarem por eles mesmos seus argumentos, os alunos solicitaram prontamente a opinião do pesquisador para dizer quem estava certo ou errado.

Sem entrar em muitos detalhes o pesquisador apenas comentou que embora existissem posições de maior e menor afastamento da Terra ao Sol, essa diferença era de apenas de 3% e não tinha nenhum papel significativo na ocorrência das estações. A principal causa para as estações do ano é a inclinação do eixo imaginário de rotação da Terra, inclinação de aproximadamente $23,5^\circ$ em relação à perpendicular ao plano de sua órbita ao redor do Sol. No próximo ambiente de aprendizagem descreveremos uma atividade de modelização que foi realizada com o intuito de verificar essas relações e dar um contraponto às ideias manifestadas por alguns dos alunos.

4.2.2 No laboratório de física: o modelo Terra-Sol

Neste ambiente de aprendizagem nossa intenção era confrontar as ideias dos alunos e demonstrar em primeiro lugar que a causa das estações do ano não era o maior ou menor afastamento da Terra ao Sol e sim a inclinação do eixo imaginário de rotação da Terra. Em segundo lugar, demonstrar que o movimento anual aparente do Sol está associado diretamente ao movimento de rotação e translação da Terra. Em terceiro e último lugar, permitir uma visão heliocêntrica de parte do sistema solar.

Para realização desses objetivos preparamos o laboratório de física da escola com alguns instrumentos básicos para simulação do modelo Terra-Sol: 4 mesas (classes) foram disponibilizadas em um círculo para simular o plano da órbita da Terra em suas quatro posições principais: verão, outono, inverno, primavera. Ao centro desse círculo foi colocado

sobre outra mesa um retroprojetor (o “Sol”). Utilizamos um objeto-modelo didático de planeta Terra (“globo”) em analogia ao planeta Terra, tudo isso numa sala parcialmente escurecida.

Conforme já havíamos comentado, o modelo Terra-Sol ou Sol-Terra tem sido frequentemente utilizado pelos pesquisadores em ensino de astronomia para simular os principais movimentos do planeta Terra, rotação e translação, em sua órbita ao redor do Sol. Este parece ser um dispositivo didático importante para tratar da questão das estações do ano. O conceito de simulação, conforme tratamos brevemente no primeiro capítulo, pressupõe uma ação que “copia” uma situação real ou imaginária em alguns aspectos. Tenta imitar ou antecipar a ocorrência de um acontecimento para assim compreendê-lo e predizê-lo.

Na figura 8, apresentamos um desenho de como o modelo Terra-Sol foi disponibilizado no laboratório de física. Utilizamos para a distância Terra-Sol uma escala na qual 100 cm representam a distância real, por volta de 150 milhões de km.

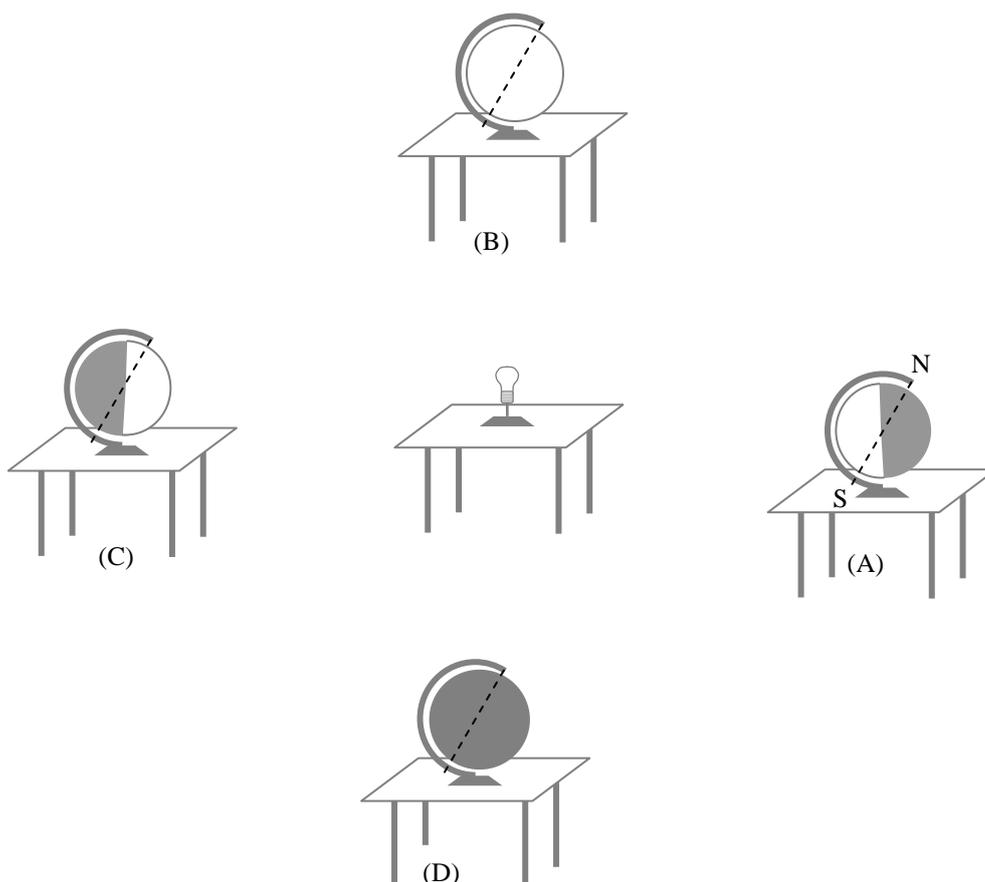


Figura 8 - Representação da órbita da Terra em torno do Sol no solstício de verão (A), no equinócio de outono (B), no solstício de inverno (C), e no equinócio de primavera (D) do ponto de vista do hemisfério sul. No centro o desenho do retroprojetor foi substituído pelo desenho de uma lâmpada. (Figura adaptada do artigo “Um modelo para o movimento anual do sol a partir de uma perspectiva geocêntrica” do Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 27, n.1, p. 15, abr. 2010.

Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/1376>

O verão

Colocando o globo na posição (A) o pesquisador solicitou que os alunos identificassem qual dos hemisférios estava sendo mais iluminado. Nesse instante poucos alunos responderam que era o Hemisfério Sul (HS) da Terra. Porém, após uma maior aproximação do globo e uma análise mais cuidadosa da projeção da sombra entre os hemisférios, os demais alunos constataram que realmente era a região do HS que recebia a maior luminosidade, o que indicava a entrada do verão para o nosso hemisfério e a do inverno para o Hemisfério Norte (HN).

Após essa constatação, o pesquisador solicitou aos alunos que localizassem a cidade de Caxias do Sul no globo e fixassem a ela um gnômon (canudo de refrigerante). A intenção era fazer-lhes pensar sobre o que aconteceria com a sombra solar projetada sobre a Terra (globo) quando esta realizasse o seu movimento de rotação. Com essa atividade o pesquisador buscava levar os alunos a encontrarem a ideia básica do movimento aparente do Sol.

Após fixar o gnômon em Caxias do Sul e simular o movimento rotacional da Terra no globo, **Pet** respondeu:

“A sombra fica parada, ela fica sempre no mesmo lugar!?” (Pet).

E o pesquisador interveio:

“Quer dizer que a sombra fica no mesmo lugar então?” (pesquisador)

Gil contestou:

“Não! Ela não fica parada não.” (Gil)

Pet retoma seu ponto de vista com a intenção de se explicar:

“Não! Não! A sombra fica parada em relação a ela própria, mas em relação ao globo ela fica no mesmo lugar! O globo está se movendo, então o globo é que está se movendo em relação à sombra!” (Pet).

Kel entra no debate e tenta explicar melhor a ideia de **Gil** e de **Pet**:

“Não, não! A luz está parada... Ele [o retroprojektor] está no mesmo lugar, o que está se movendo é a Terra [o globo]... Mas, se o globo estivesse parado e a luz se movendo, era ele que estaria se movendo... A sombra [então]

estaria se movendo devido à luz.” (Kel).

Kel parece querer explicar que o Sol (retroprojektor) está parado ao centro emitindo seus raios luminosos e “*o que está se movendo*”, rotacionando, é a Terra (globo) e não o contrário. Assim, parece querer afirmar que a sombra está se movendo devido o movimento de rotação do globo e não ao movimento do retroprojektor que está parado. Alguns alunos pareciam concordar com **Kel**. Seu ponto de vista vai ser confirmado em seguida.

Procurando identificar o que realmente os alunos estavam pensando a esse respeito o pesquisador perguntou:

“Vocês estão afirmando que não é o retroprojektor que está se movendo, entendendo. Então isso quer dizer o que afinal?” (pesquisador).

Os alunos não responderam imediatamente. Estavam pensativos ao redor de **Pet** e de **Kel** que rotacionavam o globo e analisavam o movimento da sombra do gnômon. O pesquisador insistiu mais uma vez:

“Quer dizer então que o Sol...?” (pesquisador).

“Nasce e se põe” (foi o que alguns alunos responderam).

“Muito bem, mas isso quer dizer o que afinal?” (pesquisador).

Enquanto alguns alunos pareciam relacionar o movimento da sombra solar ao nascer e o pôr do Sol, **Kel** deixa de manipular o globo, se afasta do mesmo e responde:

“Que é a gente que está se movendo!... Ah!... Então o Sol está parado e é a Terra que se move, entendi!” (Kel).

A partir desse instante conseguimos perceber em **Kel** o reconhecimento de um dos aspectos do movimento aparente do Sol: é devido ao movimento de rotação da Terra que o Sol realiza o seu movimento diurno aparente. Alguns alunos pareciam reconhecer o mesmo, mas outros ainda pareciam confusos. O pesquisador então aproveitou o argumento de **Kel** para voltar a relacionar na simulação o movimento do globo com o comprimento da sombra solar projetada pelo gnômon, a qual apresentava, tanto no nascer quanto ao pôr do Sol, um comprimento maior do que aquele apresentado ao meio-dia solar. A explicação de **Kel** foi aperfeiçoada pelo pesquisador, o qual mencionou que o Sol está parado em relação à Terra,

mas também ele se move quando a referência é o Universo (as assim chamadas “estrelas fixas”) O movimento do Sol é dito aparente, nascendo nas proximidades do leste e se pondo nas proximidades do oeste devido ao movimento de rotação da Terra de oeste para leste (sentido anti-horário). O Movimento de translação também influencia nesse movimento.

Após esses comentários o pesquisador simulou o movimento de rotação e translação da Terra até a posição (B), até a estação de outono.

O outono

Num ambiente entremeado de observações e diálogos alguns alunos perceberam que o globo estava recebendo a mesma quantidade de luz em ambos os hemisférios, porém não relacionaram este “fato” com o tempo de luz solar para o equinócio de outono, momento em que o dia claro e a noite possuem praticamente a mesma duração em ambos os hemisférios: aproximadamente 12 horas.

O pesquisador aproveitou então para ajudá-los a analisar com mais cuidado o contraste entre a região de sombra e de luz no globo e relacionar com a duração do dia claro. Enquanto isso, **Rob** diz já ter ouvido falar sobre o período de luz solar de 24 horas em alguns lugares do planeta. **Bel** e **Tor** perguntaram se não haveria algumas regiões do planeta em que teríamos 24 horas sem luz solar. Enquanto os alunos debatiam essas questões **Pri** comentou:

“Não é nos polos que, tipo assim, durante 6 meses é dia e no outro polo é noite, e depois de 6 meses inverte?” (Pri).

O pesquisador aproveitou o comentário de **Pri** para relacionar a duração do dia claro e da noite nos polos no equinócio de outono (B) e depois no solstício de verão (A). Tentou ajudar os alunos a analisarem novamente as regiões de sombra e de luz projetados no globo nas posições (A) e (B) e perceberem que no verão enquanto o polo sul da Terra era totalmente iluminado por um período de 24 horas, o polo norte ficava durante o mesmo período sobre a região de sombra. Logo, enquanto no polo sul o dia claro tinha uma duração de 24 hs, no polo norte ocorria o contrário, a noite é que durava 24 hs. Isso continuaria a acontecer durante um período de aproximadamente 6 meses, indo de um equinócio a outro. Quando então teríamos uma inversão, isto é, quando a duração do dia claro passaria a ser de 24 hs para o polo norte e a duração da noite passaria a ser de 24 hs para o polo sul, por aproximadamente 6 meses.

Essa relação entre a duração do dia claro e da noite para ambos os polos da Terra é fácil de percebermos ao analisarmos as regiões de sombra e de luz no globo quando este se

encontra na posição (A), indicativa do verão e na posição (C), indicativa do inverno (levando em consideração o hemisfério sul). O difícil é percebermos que esse mesmo período de 24 hs, dia claro no polo sul (iluminado) e noite no polo norte (sombra) ou o contrário, tende a se inverter na medida em que a Terra vai de um equinócio a outro, isto é, quando ela sai da posição (B) em direção a posição (D) passando por (C) e da posição (D) à (B) passando por (A).

Quando o globo é posicionado exatamente sobre a posição (B) indicando o equinócio de outono, não é difícil percebermos que os dias e as noites são iguais para ambos os hemisférios, pois suas regiões são igualmente iluminadas, porém é um pouco mais complicado de percebermos, por exemplo, que no polo sul e no polo norte o Sol estará em crepúsculo por um período de 24 hs, encontrar-se-á na linha do horizonte durante esse período. O mesmo ocorre quando a Terra está na posição (D), indicativa do equinócio de primavera.

Ao incentivar os alunos a analisar e debater sobre as regiões de sombra e de luz projetadas sobre o globo no instante em que a Terra estava em sua posição (A) e (B) o que depois seria também comprovado com as posições (C) e (D) o pesquisador conseguiu verificar que alguns alunos tentavam relacionar essa projeção com a duração do dia claro de forma significativa. Como foi o caso de *Pet*, por exemplo, ao analisar as regiões de luz e de sombra projetadas no Globo quando este se encontrava na posição (A), indicativa do verão para o HS.

“Se tu pensar pela lógica, no verão vai estar pegando mais Sol, quer dizer que vai ficar mais fácil de perceber...Quer dizer que a Terra vai pegar Sol por mais tempo... Então no verão é mais longo o dia de Sol que no inverno.”
(Pet).

Entretanto, nos pareceu que a grande maioria não conseguia estabelecer a mesma relação feita por *Pet*, isto é, não conseguiam relacionar a região iluminada do globo com a duração aproximada do dia claro, a não ser quando o pesquisador interveio.

Observar a duração do dia claro e da noite (período em que o Sol está acima e abaixo do plano do horizonte) no decorrer de um ano através de um referencial heliocêntrico parece ser menos trivial do que observar através de um referencial geocêntrico. Mas é interessante levar os alunos a observarem as regiões de luz e de sombra e tentarem conjecturar sobre a duração aproximada do dia claro através de um ponto de vista exterior, de fora da superfície do planeta Terra.

O ponto de vista heliocêntrico parece ser o melhor para analisarmos as regiões de luz e de sombra projetados no globo (o ciclo dia claro/noite), além disso, permite-nos ter uma boa noção sobre as estações do ano e sobre o movimento aparente do Sol. Porém, é um pouco mais complicado para relacionarmos o “tempo” em que o Sol permanece acima e abaixo do plano do horizonte do observador. Mas não é tão improvável assim: como vimos, **Pet** conseguiu estabelecer algumas relações.

Trabalhar com o modelo Terra-Sol por meio de objetos-modelo didáticos, como um retroprojetor representando o Sol e um globo representando a Terra em um referencial heliocêntrico, pode auxiliar na compreensão da causa das estações do ano. Como veremos mais a seguir nos argumentos de **Mel**, enquanto debatíamos sobre a posição do globo em (C), indicativo da posição do inverno para o HS.

O inverno

Ao posicionar o globo em (C) alguns alunos comentaram imediatamente que estava se tratando da representação do inverno para o hemisfério sul (HS) e do verão para o hemisfério norte (HN), pois a região do HS estava sendo menos iluminada pelo Sol do que a região do HN. **Pet** manipula o globo e tenta mostrar para seus colegas que o polo sul da Terra não recebe nada de luminosidade, ficando totalmente sombreado. Ele aproveita para resgatar o comentário feito por **Gil** anteriormente e comenta:

“Ah!...Taí então porque no polo sul ficaríamos 24 horas sem ver a luz do dia!...Fica totalmente escuro mesmo.” (Pet).

Pet aproveita ainda para dar um exemplo, mostrando no globo que no Canadá a duração do dia é maior que aqui no Brasil apenas observando o contraste entre a região iluminada (dia claro) e a região sombreada (noite).

Outros alunos se aproximaram um pouco mais do globo com a intenção de analisar as conclusões de **Pet**.

Gil comenta:

“Agora entendi essa questão de não vermos o Sol... No polo sul, no inverno.” (Gil)

Rob, ao contrário de **Pet**, ao rotacionar o globo observa que o polo norte, no inverno, é

totalmente atingido pelos raios solares.

“Olhem só!... Aqui [no polo norte] o Sol pega 24 horas... Diferente dali [no polo sul] que não pega nenhum pouquinho.” (Rob).

E finalmente podemos ver a empolgação de **Mel** que começa a descobrir algo novo:

“Então quando é inverno aqui [no Hemisfério Sul] no Hemisfério norte é verão!?” (Mel).

Alguns colegas ironizaram o comentário da aluna ao dizer algo como “*mas é o que a gente está observando desde o começo!*”. E **Mel** volta a comentar:

“Eu não conseguia entender esse negócio! Eu acho que para entender esse negócio todo mundo devia ter uma aula assim para aprende o porquê [das estações do ano]... Eu fui uma que não aprendi em aula...” (Mel).

Por um instante alguns alunos interromperam a aluna ao dizer que já haviam realizado uma experiência semelhante à que estávamos fazendo e, por isso, não entendiam a surpresa de **Mel**. Porém, **Mel** não se intimida e logo concluí:

“... Eu aprendi só assim... (referindo-se a representação bidimensional do modelo Terra-Sol que o pesquisador havia desenhado previamente no quadro)” (Mel).

E **Bel** que pouco participava dos diálogos também respondeu:

“É! Assim... Somente no quadro.” (Bel).

E **Pet** também comenta:

“O problema é que no quadro a gente tem uma visão plana né!” (Pet).

Bel volta a comentar:

“É! Aí a gente não consegue imaginar isso bem.” (Bel).

Enquanto as opiniões pareciam “contaminar” outros alunos que também comentavam que aprenderam o modelo Terra-Sol apenas através de desenhos no quadro negro e nas figuras

dos livros didáticos, o pesquisador então pergunta:

“Vocês acham que a utilização desses modelos em sala de aula pode melhorar o aprendizado?” (pesquisador).

Mel prontamente responde:

“Ih! Nossa! 100 vezes! Faz... Eu to no último ano da escola e só aprendi agora como funciona esse negócio!” (Mel).

Outros alunos também comentaram que a mudança de perspectiva, do modelo bidimensional presente em livros didáticos para o modelo tridimensional da modelização que estávamos realizando naquele momento, clareava muitas das suas dificuldades em enxergar a causa das estações do ano.

O pesquisador aproveitou para comentar que também tinha bastante dificuldade em sair do papel, da representação bidimensional do modelo Terra-Sol para a sua representação tridimensional, apenas estudando nos livros didáticos e páginas da internet. Foi só quando começou a operar com esses modelos concretos tridimensionais que aos poucos foi obtendo um melhor entendimento desses fenômenos naturais.

É importante mencionar que alguns alunos já tinham realizado uma atividade de modelização semelhante à que desenvolvemos, e haviam percebido que a causa das estações do ano era a inclinação do eixo imaginário de rotação da Terra e que a órbita era praticamente circular (levemente alongada). Porém, outros nunca haviam realizado essa experiência, tal como observamos anteriormente na empolgante reação de **Mel** que feliz da vida, agora no final do ensino médio tinha finalmente compreendido.

Podemos concluir que o modelo Terra-Sol tal como foi desenvolvido nessa atividade de modelização, através de objetos simples e que podem ser encontrados em praticamente quase toda escola parece oportunizar uma visão adequada do ponto de vista heliocêntrico, permitindo aos alunos ter uma melhor compreensão das estações do ano e de um dos aspectos do movimento aparente do Sol, o movimento de rotação da Terra. Porém, este dispositivo não parece ser tão intuitivo para o desenvolvimento do ponto de vista geocêntrico, fundamental para compreendermos não só o período em que o Sol permanece acima e abaixo do plano do horizonte ao longo do ano; para verificarmos as diferentes direções do nascer e do pôr do Sol ao longo do ano; bem como para identificarmos a sua posição em relação à vertical do lugar. Por isso estamos convictos que os dois referenciais, heliocêntrico e geocêntrico, devem ser

trabalhados de forma conjunta, um complementando o outro. Pois como diria Sobreira (2010, p. 55) interpretando Lanciano (1989):

[...] a linguagem comum sobre os fatos astronômicos está ligada à visão ptolomaica. Ela funciona muito bem para explicar e descrever o que se vê cotidianamente [...] [E] não se trata de uma escolha que elimine uma hipótese para admitir outra. Nada deixa de ser completamente ptolomaico para se tornar simplesmente copernicano. Há a manutenção de dois modelos diferentes [o heliocêntrico e o geocêntrico], dois modelos de linguagem para falar da mesma coisa e a coexistência de pensamentos diversos sobre uma mesma realidade.

Nesse sentido, acreditamos que o modelo Terra-Sol também poderia ser trabalhado através de uma visão geocêntrica (topocêntrica), isto é, a partir do ponto de vista de quem está na superfície do planeta Terra ao observar os astros no céu. É a nossa visão mais imediata e acessível e por isso mesmo não pode ser simplesmente ignorada. Porém, visão que pode ser ensinada desde que os estudantes entendam que, por exemplo, a Terra não está no centro do Sistema Solar, tampouco do Universo, e o movimento “aparente” do Sol é uma consequência dos movimentos de rotação e translação da Terra.

Esse é o nosso próximo e último desafio. Para trabalharmos no desenvolvimento do ponto de vista geocêntrico e identificarmos o movimento aparente do Sol nos valemos então de mais dois ambientes de aprendizagem: o planetário inflável do museu interativo de ciências da Universidade de Caxias do Sul (MIC – UCS), para em seguida voltarmos novamente à sala de aula, desta vez para o desenvolvimento de atividades de modelização por meio do modelo do MAS.

Para finalizar é importante mencionarmos que não apresentamos aqui os debates realizados sobre a posição da Terra (globo) em (D), indicando a estação da primavera, por dois motivos. O primeiro motivo, por que não foi necessário, pois antes mesmo do pesquisador mudar a posição do globo de (C) para (D) os alunos já haviam relacionado com o equinócio de primavera. O segundo, a posição ocupada pelo globo em (D) é semelhante a posição anteriormente discutida em (B), ambos os hemisférios recebem proporcionalmente a mesma região de iluminação e de sombra, denotando a mesma duração do dia claro e da noite.

4.2.3 No museu de ciências da UCS: a sessão no planetário inflável.

O planetário inflável, um “objeto-modelo didático”, está frequentemente presente em museus de ciências, casas de ciências ou centros de ciências; é típico de ambientes não formais de aprendizagem, onde as pessoas que o frequentam estão livres para escolher os

métodos e os conteúdos que desejam aprender, utilizando-o muitas vezes unicamente para fins de diversão (LANGUI & NARDI, 2009). O planetário, inflável ou não, é reconhecido como uma potente ferramenta para o ensino de astronomia, por isso, tem sido a pouco tempo utilizado como ambiente formal de aprendizagem, um espaço em que há uma intencionalidade bem definida daquele que ensina os objetos do saber astronômico; conteúdos formais, presentes nos programas de ensino, são aí desenvolvidos (LANGUI & NARDI, 2009; BARRIOS, 2010).

Mas quais são as características de um planetário inflável? E qual é a sua função?

Resumidamente, o planetário inflável é constituído basicamente de uma semi-esfera inflável, uma espécie de “cabana iglu” desenvolvida em material sintético e inflada por um sistema de ventilação; uma base, o solo sobre o qual o planetário está colocado representa o plano do horizonte do observador; ao centro dessa semi-esfera é posicionado um cilindro onde as estrelas estão gravadas (por meio de um processo fotográfico). Uma pequena lâmpada, no centro geométrico do cilindro é responsável pela projeção de pontos luminosos no interior da abóboda. A semi-esfera representa uma semi-esfera celeste e os pontos luminosos projetados sobre ela representam as estrelas organizadas em suas constelações com bastante fidelidade, praticamente nas mesmas posições angulares que seriam vistas a olho nu, numa noite escura. Nela também são representados aglomerados; os planetas e o Sol podem ser mostrados, mediante ajustes que dependem da época do ano que se quer representar.

A função do planetário inflável é primeiramente reproduzir o céu noturno tal como visto de qualquer lugar do planeta Terra. Em segundo lugar sua função é simular o movimento anual aparente da esfera celeste nos fornecendo uma visão geocêntrica (topocêntrica) adequada do sistema solar.

Geralmente as sessões são coordenadas por professores de astronomia, física ou por bolsistas de iniciação científica devidamente preparados. As pessoas que o frequentam, estudantes e (ou) outros visitantes são organizados no interior da abóboda, sentadas em círculo. O apresentador fica ao centro desenvolvendo a apresentação e controlando o mecanismo que projeta as imagens.

Muitas questões podem ser trabalhadas em um planetário inflável; além daquelas ligadas à astronomia, questões ligadas à biologia, à química, às artes e outras podem também

ser desenvolvidas: há cilindros que representam uma célula humana como se fosse vista de dentro, outros representam as correntes de convecção no planeta, entre outras possibilidades⁴⁷.

As questões que trabalhamos com os alunos no planetário inflável foram duas: 1) como localizar os pontos cardeais através da constelação do cruzeiro do Sul, e 2) como é o movimento anual aparente do Sol para algumas regiões do hemisfério sul: Macapá (0°), Caxias do Sul (~30°) e polo sul (90°). É a elas que vamos agora nos reportar de forma sucinta.

Localizando os pontos cardeais

Antes de começar a sessão no planetário inflável o pesquisador tentou ajudar os alunos a recuperarem algumas informações trabalhadas anteriormente e transferirem para essa atividade. A ideia era fazer com que eles se lembrassem da representação da esfera celeste e do plano do horizonte (figuras 5 e figura 6) trabalhados anteriormente no *texto do saber* e relacionassem com os elementos que compõem o planetário inflável. Logo, eles teriam que tentar perceber que a semi-esfera inflável, a abóboda do planetário, representava uma parte da esfera celeste e, a base que estava sustentando-o, o “chão” da sala em que estavam sentados, representava o plano do horizonte do observador.

Embora os alunos estivessem sentados em círculo, em torno do cilindro retroprojeter e praticamente encostados nas “paredes” da abóboda o pesquisador pediu que todos se imaginassem como ocupando o centro dela, sobre a superfície do planeta terra, sobre o plano do horizonte e localizados na cidade de Caxias do Sul. Alguns alunos (seis ao total) pareciam familiarizados com o planetário e com os seus elementos uma vez que já haviam frequentado algum tipo de planetário. Porém, o pesquisador não conseguiu perceber como os alunos estavam lidando, nos momentos iniciais, com a mudança de perspectiva, a passagem de uma visão heliocêntrica (anteriormente trabalhada por meio do modelo Sol-Terra) para uma visão geocêntrica do sistema solar (agora trabalhada por meio do planetário).

Antes de nos reportarmos à apresentação do movimento anual aparente do Sol é interessante mencionar que apenas *Pet* demonstrou ter algum conhecimento sobre como utilizar a constelação do Cruzeiro do Sul para localizar o ponto cardeal sul. Entretanto, nem *Pet* e nenhum outro aluno sabia como utilizar o Cruzeiro do Sul para localizar o polo celeste sul e a partir dele o ponto cardeal sul. Todos os alunos pareciam reconhecer os quatro pontos

⁴⁷ Para saber mais sobre a evolução histórica dos planetários e as diversas possibilidades de exploração sugerimos o artigo: “A investigação Educativa em Astronomia: Os planetários como espaço de ensino e aprendizagem” de Juan Bernardino Marques Barrio. *In: Educação em Astronomia: Experiências e contribuições para a prática pedagógica*. São Paulo. Editora Átomo, 2010.

cardeais: leste, oeste, norte, sul, porém, apenas através da “da tradicional regra prática” já apontada por Bisch (1998, p. 157)⁴⁸ sem fazer nenhuma menção ao polo celeste sul, o que reforça o provável erro conceitual de seus antigos professores.

Após definido o ponto cardeal sul, com auxílio do Cruzeiro do Sul e do polo celeste sul, os demais pontos cardeais foram então definidos⁴⁹.

O movimento anual aparente do Sol

No cilindro fotográfico, na faixa da eclíptica, existem orifícios localizados em posições estratégicas, que são devidamente obstruídos por pequenas tampas fixadas magneticamente. Se uma delas é retirada, um disco de luz é projetado na abóboda do planetário; este disco representará o Sol numa determinada época do ano, aproximadamente no vigésimo primeiro dia do mês escolhido. Para entendermos o movimento anual aparente do Sol e a posição do seu nascimento a partir dessas projeções é essencial definirmos, primeiramente, os quatro pontos cardeais no plano do horizonte, questão essa que já tinha sido trabalhada anteriormente com os alunos⁵⁰.

O Sol na estação de verão e inverno em Caxias do Sul

Primeiramente, tendo regulado o cilindro para Caxias do Sul (~ 30° Hemisfério Sul) o pesquisador projetou na esfera celeste o Sol referente à estação do verão (em aproximadamente 21 de dezembro). Porém, antes que os alunos percebessem a projeção do Sol na abóboda, o cilindro foi preparado para simular o nascimento do Sol, isto é, foi regulado para simular o Sol surgindo lentamente acima do plano do horizonte, na entrada do verão.

Propositalmente, o pesquisador apontou com uma lanterna a *lazer* exatamente sobre a direção do ponto cardeal leste, dando a ideia do local do nascimento do Sol. O que parecia contrariar o senso comum dos alunos, pois a estrela surgiria lentamente no horizonte em sua

⁴⁸ Conforme verificamos na pesquisa de Bisch (1998). Ver p.103 dessa dissertação.

⁴⁹ O método que utilizamos para encontrar o polo celeste sul e ponto cardeal sul a partir do cruzeiro do sul é semelhante aquele descrito por Paula & Oliveira (2002). Disponível em: <http://cdcc-gwy.cdcc.sc.usp.br/cda/erros-no-brasil/index.html>

⁵⁰ Para quem não tem acesso imediato a planetários e deseja utilizar o Cruzeiro do Sul (no céu noturno) para determinar o ponto cardeal sul e, a partir dele, os outros pontos cardeais, sugerimos ainda o artigo: “Fotografando estrelas com uma câmara digital” de Ourique, Giovannini & Catelli (2010), publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 32. n.1. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v32n1/a02v32n1.pdf>.

declinação máxima, ao sul do leste e não “exatamente” sobre o leste, aquela direção que o *lazer* estava apontando e a qual todos o aguardavam. Vários murmurinhos do tipo: “*espera ai!...*”; “*o que está acontecendo?...*”; “*tem alguma coisa errada!?!...*”, prontamente apareceram. Percebendo a inquietação dos alunos o pesquisador perguntou:

“*O que está havendo pessoal?*” (pesquisador).

Por um instante o silêncio tomou conta da sessão, enquanto *Kel* timidamente comentou:

“*O sol não nasceu no leste!?*” (Kel).

Os alunos estavam surpresos. O Sol não deveria nascer no leste? Havia alguma coisa errada já que desde sempre aprenderam na escola que o Sol “sempre” nascia no leste. As aulas de ciências e de geografia que tiveram no ensino fundamental comprovavam essa concepção⁵¹. Por um instante os professores dos alunos eram submetidos à fogueira da Santa Inquisição.

Tentando libertar os acusados de um ensino completamente distorcido, o pesquisador explicou-lhes que os professores estariam equivocados caso tivessem mencionado a palavra “sempre”, já que o Sol nasce sim exatamente no ponto cardeal leste e tem seu ocaso também exatamente no ponto cardeal oeste, porém apenas na entrada de duas estações do ano, em apenas em dois dias do ano. O pesquisador então perguntou:

“*Vocês saberiam quais são essas estações?*” (pesquisador).

Alguns alunos responderam:

“*Acho que é no verão?*” (Bel).

“*Verão!*” (Fra).

“*Também concordo com a [Fra]!*” (Pet).

“*Também concordo!*” (Kel).

⁵¹ Mais a seguir, durante a entrevista semi-estruturada (p. 171) apresentaremos alguns depoimentos dos alunos que comprovam a ineficiência do ensino que obtiveram na escola.

“Alguém discorda? (pesquisador).

“Viu professor, não seria no horário que tipo... Que troca do inverno pro verão?” (Rob).

“Eu acho que deve ser no ponto mais alto do verão... E no ponto mais alto do inverno.” (Pet).

“Eu também, verão e inverno...” (Mel).

“Eu acho que é no outono e na primavera.” (Pri).

Após esses comentários, feitos sem muita convicção, os alunos solicitaram a intervenção do pesquisador, que confirmou o argumento de **Pri** e explicou a todos que o Sol apenas nasce no leste e se põe no oeste nos equinócios de outono e primavera, em aproximadamente 21 de março e 23 de setembro, respectivamente, mas com algumas pequenas variações nas datas, o que não era nem mesmo aproximadamente verdadeiro para as outras estações do ano.

Porém, quando o pesquisador questionou **Pri** sobre como ela conseguia identificar o fenômeno, ela foi honesta ao afirmar que apenas tinha percebido que ninguém havia mencionado esse período do ano (primavera e outono): foi um “*belo chute*”, segundo a expressão dela mesma.

Voltando à observação do nascimento do Sol e à consequente simulação do seu movimento diurno, chegamos (pesquisador e alunos, conjuntamente) à conclusão de que não se tratava nem do Sol do início da primavera nem do início do outono já que seu nascimento não ocorria “exatamente” no ponto cardinal leste. Tratava-se da simulação do movimento aparente do Sol para o solstício de verão para Caxias do Sul (aproximadamente em 21 de dezembro). O pesquisador tentou ajudar os alunos a observarem a trajetória e perceberem que na entrada do verão o Sol está nascendo nas proximidades do leste, mais ao sul do leste, e se pondo nas proximidades do oeste, mais ao sul do oeste, descrevendo um longo arco no céu.

O mesmo método foi aplicado para a simulação do solstício de inverno (aproximadamente em 21 de junho) em Caxias do Sul. O pesquisador solicitou que os alunos observassem na simulação dois fatores: a posição do nascimento do Sol e a sua trajetória aparente na esfera celeste. Enfatizou-se então que na entrada do inverno em Caxias do Sul o Sol nasce nas proximidades do leste, mais ao norte do leste e, se põe nas proximidades do oeste, mais ao norte do oeste, na direção diametralmente oposta ao Sol do verão. Além disso,

sua trajetória circular aparente na esfera celeste é bem menor que a trajetória vista anteriormente, é bem menor que a trajetória relativa ao verão.

O Sol na estação de primavera e outono em Caxias do Sul

Na simulação do Sol dos equinócios de primavera e outono (aproximadamente 23 de setembro e 21 de março, respectivamente) seguiu-se o mesmo método de observação. O pesquisador solicitava aos alunos que observassem a posição do nascimento e do ocaso do Sol e a sua trajetória aparente na esfera celeste. Logo, buscou-se enfatizar o único período em que o Sol realmente nasce no leste e se põe no oeste. O pesquisador aproveitou o momento para perguntar que relações os alunos conseguiam estabelecer entre a observação da trajetória aparente do Sol na esfera celeste nos períodos dos equinócios e dos solstícios.

Kel percebeu que nos equinócios o Sol “*está mais no centro e fica mais alto*”. Enquanto **Pet** concluía que “*por ele estar mais alto, talvez a trajetória bem em cima pra nós seja a maior*”. Enquanto os alunos tentavam estabelecer relações de semelhança e diferença entre os diferentes movimentos até então simulados o pesquisador buscava identificar se eles conseguiam relacionar esses movimentos com o período em que o Sol permanece acima do plano do horizonte (período com luz solar / dia claro).

“*E o que poderíamos concluir em relação ao período com luz solar?*”
(pesquisador).

E **Kel** percebeu que:

“*Que tem mais Sol na primavera que no inverno*” (Kel).

Ao analisar o arco da trajetória do Sol na esfera celeste **Kel** percebeu muito bem que o Sol fica mais tempo acima do plano do horizonte na primavera que no inverno. Porém, parece ter entendido que o Sol fica bem mais próximo do “*centro*” e “*fica mais alto*” no céu, dando a entender que o Sol na primavera fica bem mais próximo do zênite do que o Sol no verão, o que não é verdadeiro. Os outros alunos pensavam aparentemente da mesma maneira.

As três trajetórias aparentes do Sol trabalhadas simultaneamente

Percebendo que os alunos estavam apresentando algumas dificuldades nas

observações, o pesquisador aproveitou o momento para simular novamente e em conjunto o movimento aparente do Sol nas quatro estações. Desta forma, os alunos tiveram a possibilidade de rever suas observações e medidas, principalmente a observação de *Kel*, discutida acima e a de *Pet* que, concordando com *Kel*, inicialmente teria dito que a trajetória do Sol nos equinócios provavelmente “*seja à maior*”.

Nesse novo momento, de revisão de observações e concepções, o pesquisador procurou ajudar os alunos a perceberem que a maior trajetória do Sol no céu era aquela relativa ao verão, a trajetória intermediária era aquela relativa aos equinócios e a menor trajetória, aquela relativa ao inverno. Além disso, auxiliou-os a perceberem que o nascer do Sol na entrada do verão acontecia “*mais para o sul*” do leste (*Kel*), no inverno “*mais para o norte do leste*” (*Rob*) e que a entrada da primavera e do outono representavam os dois únicos dias do ano em que o Sol tem seu nascimento exatamente no ponto cardeal leste e ocaso no ponto cardeal oeste.

Outra questão igualmente importante oriunda dessa simulação e que merece um breve comentário foi aquela relativa à projeção da sombra solar e aquela relativa à vertical do lugar ou zênite. Ao simular o movimento aparente do Sol para as quatro estações ao mesmo tempo, o pesquisador propiciou aos alunos visualizarem no modelo que, ao meio-dia solar, o Sol em Caxias do Sul (ou qualquer outra localidade cuja latitude seja maior que $\pm 23^\circ$) nunca fica “reto sobre os objetos” como apareceu em alguns questionários; ele nunca atinge a vertical ou zênite, por isso, a projeção da sombra solar sobre os objetos nunca é nula, sendo que a sua maior aproximação do zênite ocorre na entrada do verão.

O movimento aparente do Sol para a linha do Equador

Após a observação das diferentes trajetórias do Sol para a cidade de Caxias do Sul - RS a próxima cidade analisada foi Macapá - AP, na linha do equador (0°). De modo semelhante, o pesquisador também simulou o movimento aparente do Sol para as quatro estações.

Questões semelhantes às trabalhadas anteriormente foram discutidas: a observação das diferentes direções do nascimento e do ocaso do Sol; as diferentes trajetórias; a mudança de posição das constelações em relação ao céu de Caxias do Sul e o momento em que o Sol atinge a vertical do lugar do observador são alguns exemplos.

Merece destaque nessa simulação a tentativa dos alunos em contrastar o período em que o Sol está acima do plano do horizonte (dia claro) em Caxias do Sul-RS com Macapá-AP,

o que lhes gerou algumas dificuldades. Enquanto alguns alunos percebiam que na linha do equador o tempo em que o Sol permanece acima do plano do horizonte é praticamente o mesmo para todas as épocas do ano, para outros alunos isso não parecia tão evidente. Assim, de modo semelhante, não existia um consenso: enquanto alguns acreditavam que em Caxias do Sul a duração do dia claro era igual à de Macapá em algumas estações, outros acreditavam que era menor.

“Em Caxias do Sul o tempo em que o Sol permanece acima do horizonte é o mesmo que na linha do equador?” (pesquisador).

“Só no verão!” (Pri).

“Não! É menor no verão.” (Rob).

“Não! Não... Tipo... No equador... Tipo... No equador vai durar um tanto no verão... Aqui no nosso verão [em Caxias do Sul] vai durar um tanto a menos... Lá [no equador] vai durar um tanto no inverno, aqui vai durar um tanto a menos” (Pet).

A dificuldade dos alunos em mensurar o tempo em que o Sol permanece acima do plano do horizonte em Caxias do Sul e Macapá, ao mesmo tempo, apenas analisando a trajetória aparente do Sol na abóboda celeste nos parece natural. No planetário inflável não há uma escala para medir a passagem do Sol no decorrer do tempo. Essa é talvez a principal limitação desse objeto-modelo didático. Em nossa pesquisa tentamos superá-la posteriormente com o modelo do MAS que, embora menos realista e abrangente que um planetário inflável, oferece a possibilidade de, digamos, “quantificar” o tempo de duração do dia claro.

O movimento aparente do Sol para o Polo Sul

A última simulação no planetário inflável foi a do movimento aparente do Sol para observadores localizados no polo sul da Terra (90°). O pesquisador regulou o cilindro para essa região simulando conjuntamente o movimento aparente do Sol nos solstícios e nos equinócios. Desse modo, tão logo o pesquisador regulou o cilindro e simulou o movimento aparente do Sol, **Pri** exclamou:

“Não vai ter meio-dia!” (Pri).

Aqui, a aluna percebe a acentuada mudança de posição do Sol na esfera celeste,

identificando que as trajetórias aparentes do Sol no polo sul são agora totalmente diferentes das observadas anteriormente em Caxias do Sul e em Macapá. Ao simular o movimento aparente para um período de 24 hs o pesquisador ajudou os alunos a perceberem que o Sol, no verão, não apresenta nascimento nem ocaso, está sempre acima do plano do horizonte do observador descrevendo uma circunferência na abóboda celeste cujo plano é paralelo ao plano do horizonte do lugar (o polo).

A pergunta de *Pri* levanta uma importante questão e gera uma dúvida nos seus colegas, principalmente em *Pet*.

“Como assim não vai ter meio-dia?... Ah, claro! Estamos falando do polo agora” (Pet).

O pesquisador aproveitou mais uma vez para comentar e lembrar aos alunos para não fazerem confusão entre o meio-dia do relógio e no meio-dia solar. São duas noções distintas. O meio-dia Solar em astronomia se refere ao momento em que o Sol atinge o meridiano celeste local, em outras palavras, o momento em que atinge a linha norte-zênite-sul ou ainda, o momento em que o Sol atinge a sua altura máxima. Esse é também o momento em que as sombras solares apontam para a direção norte-sul do plano do horizonte. Porém, também temos o meio-dia registrado em nossos relógios. Devido à inclinação do eixo e à órbita elíptica da Terra o meio-dia solar e o meio-dia do relógio em geral não coincidem.

Na colocação de *Pri* ela está se referindo ao meio-dia do relógio. E não há sentido pensar em meio-dia solar para o polo sul, pois o Sol percorre uma trajetória circular na esfera celeste que é praticamente paralela ao plano do horizonte. Estávamos nos referindo então, nessa ocasião, ao meio-dia do relógio.

Na sequência da simulação, além das observações do movimento aparente do Sol para as outras estações (inverno, outono e primavera) o pesquisador também trabalhou com os alunos a questão do “Sol da meia noite”.

Para finalizar a atividade o pesquisador levantou um questionamento aos alunos, perguntando-lhes se saberiam identificar a trajetória aparente do Sol no céu e calcular a duração aproximada do dia de outra forma, sem o uso do planetário inflável.

Aqueles que se manifestaram responderam que era muito difícil, embora não impossível, já que teriam que ficar observando o nascimento e o pôr do Sol o dia todo e, além disso, contar com o auxílio de um relógio para tentar registrar o seu movimento diurno em uma tabela.

O pesquisador comentou então que existia outra forma, tão interessante e divertida

quanto o de observar o Sol e fazer registros sobre a sua localização com o passar do tempo. Trata-se de uma forma menos trabalhosa de descobrir a duração aproximada do dia claro para qualquer região do planeta com um erro de poucos minutos; era chegado o momento de construirmos o modelo geocêntrico para o movimento anual aparente do Sol, o modelo do MAS.

4.2.4 Na sala de aula: a modelização do modelo do movimento anual aparente do Sol (o modelo do MAS).

Com a modelização do modelo do MAS chegávamos enfim à nossa última atividade. A maioria das questões discutidas anteriormente nos outros ambientes de aprendizagem mais uma vez seriam retomadas e trabalhadas através de um “novo objeto-modelo didático”. Com o modelo do MAS em mãos os alunos seriam convidados a realizar algumas previsões no que diz respeito ao movimento aparente do Sol para as mesmas regiões trabalhadas no planetário e para uma outra região de escolha pessoal. Também seria proposta uma questão em que os alunos teriam que imaginar e propor, com o auxílio do modelo geocêntrico, qual a melhor localização para a construção de uma casa, de tal modo que a sua parte frontal recebesse a maior incidência de raios solares. Para verificar a potencialidade do modelo do MAS em suas previsões, no que diz respeito à duração aproximada do dia claro, foi distribuída aos alunos uma tabela do Observatório Naval Americano (USNO) para que assim pudessem fazer comparações entre os dados retirados desse objeto-modelo didático com os dados gerados por um programa de computador.

A seguir passamos então a descrever, analisar e interpretar de modo sucinto como foi realizada a atividade de elaboração, construção e exploração do modelo do MAS em sala de aula.

Para dar início à atividade de modelização, o pesquisador apresentou aos alunos uma réplica do modelo do MAS previamente construído e os materiais utilizados em sua construção⁵². O modelo passou de mão em mão para que os alunos fossem se familiarizando com o que teriam que construir. Para ganhar tempo, visto que tinha previsto uma hora e meia para a realização dessa atividade, o pesquisador construiu previamente algumas peças do modelo. A construção destas peças poderia sem dúvida ser realizada pelos alunos sem dificuldade, mas demandaria um espaço de tempo adicional que não traria nenhum benefício

⁵² Nas figuras 4-a e 4-b (p.62-3) é possível ver uma fotografia do modelo do MAS previamente construído.

aparente à pesquisa.

Depois que todos os alunos observaram o modelo, o pesquisador fez algumas perguntas para ver se eles estavam entendendo o que significava todo aquele aparato. De início poucos alunos se manifestaram. Porém, quando o pesquisador aventou sobre os conceitos trabalhados anteriormente no *texto do saber* (figura 5 e 6) e no planetário inflável, os alunos aos poucos pareciam recuperar as informações, identificando as relações de semelhanças entre os objetos-modelo didáticos já explorados com o que estávamos para elaborar. Esse foi o momento em que o pesquisador e os alunos discutiam sobre a “materialização” das noções abstratas: esfera celeste e plano do horizonte, que eram mais uma vez “cristalizadas” e tomavam agora a forma de um cilindro e a forma de um CD, respectivamente.

Após essa conversa o pesquisador distribuiu aos alunos o restante dos materiais necessários a elaboração do modelo, orientando-os na construção e comentando sobre a significação do que estava sendo feito. Cada aluno trabalhou na confecção do seu próprio modelo, porém, todos tinham a possibilidade de ajudar uns aos outros nessa tarefa. Esse foi um momento especial da atividade, pois ao se envolverem na elaboração do modelo aos poucos os alunos buscavam se familiarizar com os conceitos a ele atrelados, ao mesmo tempo em que tentavam recuperar aqueles conceitos já trabalhados. Assim, nessa primeira troca de ideias o pesquisador procurava ajudar os alunos a ativarem mais uma vez os processos de aprendizagem por recuperação e transferência de informações.

As limitações do modelo do MAS no que diz respeito à analogia substancial (estrutural) com outros objetos-modelos didáticos como, por exemplo, as representações das figuras 5 e 6 ou o planetário inflável, se destaca. Representar uma esfera (esfera celeste) por meio de uma faixa de transparência cilíndrica pode não ser intuitivo. Porém, já havíamos fundamentado anteriormente que do ponto de vista da analogia funcional (conceitual) não há muito problema, uma vez que o Sol não se move em toda a esfera celeste, apenas em uma faixa dela⁵³. Essa questão fora discutida com os alunos e levou *Pet* a destacar uma das características do modelo do MAS (e de qualquer modelo): *por que o modelo é incompleto!* E é exatamente o que destacávamos no início do segundo capítulo: os objetos-modelo segundo a epistemologia Bungeana (1974) representam apenas alguns elementos da coisa ou fato em estudo. Eles representam apenas alguns aspectos da realidade.

⁵³ Conforme havíamos fundamentado no segundo capítulo, entre as páginas 63 e 64.

Ajustando o modelo para Caxias do Sul e Macapá

Na primeira simulação com o modelo do MAS o pesquisador solicitou aos alunos que ajustassem a faixa cilíndrica para uma latitude de 30° , correspondente a Caxias do Sul. Imediatamente após o ajuste ter sido efetuado alguns alunos começaram a realizar inferências. Eles perceberam imediatamente que a maior trajetória descrita na faixa representava o arco da trajetória aparente do Sol na entrada do verão, o que facilmente era medida em sua escala, contabilizando 14 horas de duração aproximada do dia claro. O pesquisador então aproveitou o momento para explicar melhor o modelo e ajudar aqueles alunos que estavam enfrentando alguma dificuldade. Na sequência, a duração aproximada do dia claro para as outras estações do ano em Caxias do Sul também foi estimada.

Depois, a mesma sequência de ações foi realizada para as regiões da linha do equador (0°), na cidade de Macapá – AP, a qual foi escolhida como exemplo. Após ajustar a faixa do modelo para essa latitude os alunos observaram as trajetórias aparentes do Sol nas quatro estações do ano e com alguma ajuda do pesquisador perceberam que a duração aproximada do dia era a mesma, 12 horas para qualquer época do ano.

A fim de permitir que os alunos comparassem os dados para a duração do dia em Caxias do Sul e em Macapá mensuradas no modelo do MAS com os dados fornecidos por um programa computacional, o pesquisador forneceu uma tabela contendo dados sobre a duração do dia claro⁵⁴. Os alunos teriam que procurar na tabela a duração do dia claro para Caxias do Sul no vigésimo primeiro dia do mês de dezembro (aproximadamente o início do verão no HS) e comparar depois com o modelo do MAS. As aproximações entre os dados impressionaram alguns alunos, como se pode notar no comentário de *Mel*.

“Nossa! 14 horas. Bem como a [Kel] falou.” (Mel).

Depois disso, os alunos verificaram e mediram a duração do dia claro para Caxias do Sul na entrada do inverno, aproximadamente em 21 de junho. Não demonstraram dificuldades em verificar que o menor arco de circunferência desenhado na faixa do modelo do MAS

⁵⁴ No site da USNO: <http://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications/data-services/duration-world/?searchterm=Daylight%20or%20Darkness>, é possível gerarmos uma tabela para a duração aproximada do dia (em horas e minutos) de forma bastante precisa. No anexo C é possível visualizar as tabelas que foram disponibilizadas aos alunos.

representava a trajetória aparente do Sol na entrada do inverno. Dessa vez as medidas retiradas da faixa foram diferenciadas uma vez que os alunos não tiveram iniciativa para construir uma escala menor transformando as horas em minutos. Mediram-na arbitrariamente, ou como se diz de modo mais comum, “mediram através do olhometro”.

“Dá umas dez horas e meia.” (Rob).

“Dá umas dez horas e meia.” (Ted).

“Dez horas e sete minutos.” (Pet).

“Dá umas dez horas e vinte minutos.” (Kel).

“Dez horas e vinte... Mais ou menos.” (Pet, refazendo a medida). ”

“Dez horas e trinta e dois minutos.” (Leo).

“Umas dez e dezessete.” (Mel).

O pesquisador pediu então que comparassem a medida retirada da escala da faixa do modelo do MAS com a tabela da USNO. Os alunos pareciam convencidos com a precisão do modelo do MAS, como se pode ver no comentário de *Mel*; sua medida foi a que mais se aproximou da medida encontrada na tabela.

“Nossa! Dá dez e dezoito” (Mel).

Esse método de medir no modelo do MAS e depois comparar com os dados gerados pelo modelo computacional conferiu aos alunos uma maior confiabilidade e uma sensação de estar realmente controlando um fenômeno que até então parecia complicado de se prever. O objeto-modelo que acabaram de construir lhes parecia bem convincente, apesar de não ser tão preciso quanto o modelo que gerou os dados da tabela. Quando os alunos tiveram que comparar também a duração do dia claro nas diferentes estações para a linha do equador (Macapá-AP) puderam perceber facilmente que o erro do modelo do MAS em relação ao modelo computacional era da ordem de poucos minutos.

O posicionamento ideal de uma casa em Caxias do Sul

A próxima questão trabalhada com os alunos foi a de posicionar, hipoteticamente, uma casa sobre o plano do horizonte do observador de tal maneira que a parte da frente recebesse a maior incidência dos raios solares ao longo do dia e do ano.

“Imaginem que agora vocês compraram um terreno em Caxias do Sul e desejam construir uma casa. Pensando em permitir que os raios solares, ao longo do dia e do ano, incidam a maior parte do tempo sobre a parte da frente dessa casa, em qual direção ela deveria ser construída?” (pesquisador).

Ao analisar e manipular o modelo do MAS alguns alunos logo começaram a gerar explicações e a fazer previsões da realidade.

“Leste!” (Mel).

“Leste!” (Rob).

“A parte da frente da casa, praticamente, sempre virada para o norte vai pegar sol o dia inteiro.” (Pet).

“Para o norte!” (Kel).

“Acho que leste mesmo... Dai pegaria na frente e atrás” (Ted).

“O norte vai pegar mais Sol” (Pet, mais uma vez afirmando o seu ponto de vista).

Em um debate acirrado sobre qual a melhor posição a parte da frente da casa deveria ser construída, os alunos estavam divididos entre a direção norte e a direção leste.

Kel e **Pet** voltam a confirmar os seus pontos de vista, a direção ideal para eles é a norte:

“Para o norte! Com o modelo é bem mais fácil de tu observar isso.” (Kel).

“É norte! Sem o modelo eu acho que tu teria que ficar observando, acordando cedo e olhando o Sol durante o dia.” (Pet).

Porém, **Rob**, **Ted** e **Mel** acham que a posição ideal é a leste e **Rob** justifica melhor a sua concepção anterior, considerando não só a parte da frente da casa como também agora a parte de trás.

“É! Mas se fosse para o norte, a frente da casa pegaria praticamente o dia inteiro e os fundos não pegaria daí. Então eu colocaria frente leste, por que daí pegaria na frente e nos fundos.” (Rob).

“Foi o que eu falei!” (Mel).

“E eu também!” (Ted).

“Se fosse para o leste pegaria Sol até umas onze e meia por aí, meio-dia talvez... Mas se fosse para o norte, não pegaria atrás da casa!” (Rob, justificando mais uma vez o seu ponto de vista).

Podemos notar nesse debate duas formas diferentes de considerar uma hipótese: uma que tenta responder a pergunta do pesquisador e outra que tenta superá-la. A primeira, dada por **Bel** e **Pet** é correta, e responde muito bem à pergunta feita pelo pesquisador, a frente voltada para o norte recebe a maior incidência de Sol durante o ano. A segunda, dada por **Ted**, **Mel** e **Rob** também responde corretamente a pergunta do pesquisador, porém, supera-a, é mais abrangente, pois também leva em consideração a iluminação da parte traseira da casa. Essas discussões demonstram que esses alunos conseguiram se apropriar dos conceitos atrelados ao modelo, do modelo teórico, e operam-no de forma eficiente, gerando explicações e previsões da realidade com bastante propriedade.

O movimento aparente do Sol em Londres (~ 52° Hemisfério Norte)

A atividade que finalizou a nossa exploração com o modelo do MAS envolveu a escolha, por parte dos alunos, de alguma região do planeta Terra para que nela fosse analisado o movimento aparente do Sol e a duração aproximada do dia claro.

Procurando uma determinada região no objeto-modelo didático de globo terrestre, no “globinho”, os alunos chegaram a um consenso escolhendo a cidade de Londres. A capital da Inglaterra fica no Hemisfério Norte em uma latitude de aproximadamente 52°. Essa foi uma escolha importante já que os alunos poderiam também perceber que o modelo do MAS é válido para qualquer região do planeta. O que muda apenas é a inversão da linha norte-sul do plano do horizonte (CD), pois quando estamos tratando de regiões do hemisfério norte, a direção do ponto cardeal sul passa a indicar a direção do ponto cardeal norte e vice-verso. E também os meses do ano dos arcos de circunferência da faixa, o arco relativo ao vigésimo primeiro dia de dezembro no hemisfério sul passa a ser aquele relativo ao vigésimo primeiro dia de junho no hemisfério norte e vice-verso.

Ajustado o modelo do MAS para a latitude de 52°, aproximadamente, foi interessante notar as reações de alguns alunos. A familiaridade com o modelo do MAS para gerar as explicações e previsões da realidade é notável. Um exemplo que demonstra essa capacidade de operar com o modelo e de relacioná-lo com acontecimentos até mesmo culturais e cotidianos pode ser observado nos argumentos de *Kel* e *Pet*, ao analisarem o pequeno arco de circunferência que representava a trajetória aparente do Sol na entrada do inverno em Londres (em 21 de dezembro).

“Caraca! É muito frio! Nossa o inverno... Nossa agora eu entendi sobre os punks e a sopa de batata! Não, agora eu entendi mesmo!” (Kel).

“O que você entendeu [Kel]?” (pesquisador).

“Que os punks tomam sopa de batata nas esquinas...” (Kel).

“E vinho quente.” (Pet).

“E vinho quente!” (Kel).

“Por que será?” (pesquisador).

“Por que é muito frio! A duração do dia é muito pequena.” (Kel).

Outras questões também foram trabalhadas com o modelo do MAS: os alunos analisaram e mensuraram a duração do dia claro nas quatro estações em Londres; observaram as diferentes posições do nascimento do Sol ao longo do ano; debateram ainda sobre o tempo em que o Sol permanece abaixo do plano do horizonte, o período sem luz solar, a noite.

Até aqui realizamos uma análise e uma interpretação de como ocorreu à interação entre pesquisador, alunos e objetos-modelo didáticos em cada ambiente de aprendizagem. Em cada uma das atividades, ao mesmo tempo em que tentamos confrontar algumas concepções prévias dos alunos que foram aparecendo ao longo da pesquisa, tentamos oferecer subsídios para que elas fossem transformadas ou reelaboradas, de tal maneira que pudessem se aproximar das concepções astronômicas atualmente aceitas, das concepções científicas.

Durante a leitura do texto do saber, em sala de aula, procuramos discutir com os alunos, em especial, sobre o caráter abstrato, hipotético e idealizado dos objetos-modelo da esfera celeste e do plano do horizonte, objetos do saber astronômico que, para facilitar o

entendimento e a compreensão dos seus referentes, seriam mais tarde “materializados” e ganhariam a forma de objetos “concretos”. Tentamos mostrar os debates que ocorreram durante a leitura e análise desses objetos-modelo e a série de interpretações que a partir daí apareceram. Conforme mostramos nos diálogos, alguns alunos pareceram adquirir uma compreensão razoável das noções de esfera celeste e plano do horizonte enquanto idealizações hipotéticas, inexistentes do ponto de vista material, simplesmente representações conceituais da realidade e não a realidade propriamente dita. Porém, algumas representações levaram em determinados casos a interpretações duvidosas, como foi o caso da Terra, que em algum momento, para alguns alunos, parecia ocupar o centro do Universo e não o centro da esfera celeste.

Desse debate inicial, outras concepções prévias também apareceram como, por exemplo, a crença de que o Sol é que se movimenta em torno da Terra e não o contrário, oriunda ao que parece de confusões entre o movimento verdadeiro e o movimento aparente do Sol; a causa das estações do ano como consequência da maior ou menor aproximação da Terra ao Sol, concepção extensamente referida na literatura⁵⁵. Estas concepções foram confrontadas posteriormente com o auxílio do modelo Sol-Terra, no laboratório de física da escola. Simulação que, como ficou evidenciado nas falas de alguns alunos, principalmente de **Kel**, de **Bel** e de **Mel**, ajudou-os a ter uma noção do movimento aparente do Sol e a desenvolver um melhor entendimento da principal causa das estações do ano, a inclinação do eixo de rotação da Terra.

Na sessão do planetário inflável, no museu de ciências, voltamos a debater sobre as noções de esfera celeste e de plano do horizonte que haviam sido representadas no texto do saber em sua forma bidimensional (no papel), e agora por um processo de transposição, foram então “cristalizadas” e re-representadas numa forma tridimensional. Assim, antes de tratarmos do movimento aparente do Sol, tentamos provocar nos alunos a ativação dos processos de aprendizagem por recuperação e transferência de informações.

Acreditamos que o planetário inflável foi importante para a observação e análise da simulação do movimento aparente do Sol para algumas regiões do planeta Terra, entre elas, a região de Caxias do Sul, da linha do equador e do polo sul. Também foi importante na definição dos pontos cardeais e na análise das diferentes posições do nascimento do Sol em cada estação do ano que, até então, era única e imutável para quase todos os alunos. Podemos

⁵⁵ Conforme mostramos no capítulo 3, no decorrer do subcapítulo: “concepções prévias no ensino de astronomia”.

dizer que o planetário inflável nos serviu como uma preparação para a atividade de modelização do modelo do MAS. Esta suposição será comprovada em seguida, em algumas falas durante a entrevista semi-estruturada.

Para finalizar as atividades, em sala de aula, partimos então para a modelização do modelo do MAS, onde novamente os alunos foram levados a debater acerca das noções de esfera celeste e plano do horizonte, mais uma vez re-representados na forma de objetos-modelo do tipo concreto. Durante a elaboração, construção e manipulação do modelo do MAS questões semelhantes às trabalhadas no planetário foram também investigadas.

Em um primeiro momento, os alunos analisaram a simulação do movimento aparente do Sol para as regiões de Caxias do Sul, linha do equador, polo sul e Londres; e analisaram a simulação das diferentes posições do nascimento do Sol em cada estação do ano para essas regiões. Em um segundo momento, analisaram e mensuraram a duração aproximada do dia claro para algumas dessas regiões e compararam com os dados retirados de um modelo computacional.

Conforme mostramos anteriormente, essa atividade de analisar, medir e retirar dados de um objeto-modelo didático (do modelo do MAS) e depois comparar com uma tabela gerada por um modelo computacional, levou a maioria dos alunos à percepção da potencialidade e da confiabilidade do modelo do MAS nas suas previsões da realidade em estudo.

A partir de agora vamos apresentar alguns resultados provenientes dessas atividades, procurando: a) demonstrar o que a pesquisa nos ensinou; b) esclarecer como as concepções prévias dos alunos foram afetadas; c) o que ficou e o que mudou em termos de conhecimento e d) o que eles conseguiram aprender com os objetos-modelos didáticos empregados, principalmente com o modelo do MAS. Alguns desses resultados são provenientes da parte final da pesquisa, na qual é realizada a entrevista semi-estruturada.

4.3 A ENTREVISTA: o momento de saber o que realmente ficou e o que realmente mudou em termos de conhecimento

A entrevista semi-estruturada foi realizada de modo individual. Cada aluno teve à disposição 10 minutos, em média, para responder a seis perguntas. Cada uma das perguntas foi elaborada com a intenção de identificar o que os alunos aprenderam com relação às questões trabalhadas, o que aprenderam sobre o movimento aparente do Sol, sobre a duração

aproximada do dia claro e sobre a posição do nascimento do Sol ao longo do ano. Além disso, procuramos identificar em que medida os objetos-modelos didáticos empregados permitiram aos alunos construírem respostas para estas questões⁵⁶.

A sala da entrevista foi previamente preparada com a instalação de aparelhos de áudio e vídeo para que as falas e os gestos dos alunos fossem captados. Alguns alunos não permitiram as gravações e suas decisões foram respeitosamente acatadas. O pesquisador deixou à disposição um modelo do MAS para que, se necessário, os entrevistados pudessem utilizá-lo ao responder as perguntas.

Começaremos por identificar o que ficou e o que mudou em relação a algumas concepções prévias identificadas no início da pesquisa. Quando nas falas dos alunos aparecerem (...) “três pontinhos soltos” significa que eles deram uma pausa longa no comentário para pensar e logo voltar a responder. Quando aparecem comentários entre [colchetes] significa o que eles estavam querendo expressar. E quando aparecem comentários entre (parênteses) significa os seus gestos ou suas ações.

Em relação às diferentes direções do nascimento do Sol ao longo do ano

Conforme verificamos na primeira pergunta do questionário, e depois confirmamos na sessão do planetário inflável, a totalidade dos alunos havia aprendido na escola que o leste e o oeste eram as únicas direções do nascimento e do pôr do Sol ao longo do ano. Não tinham conhecimento de que esses acontecimentos ocorriam apenas em dois dias do ano, nos equinócios de primavera e outono. Apenas *Pet*, como veremos em seguida, mesmo tendo recebido anteriormente este conceito de forma equivocada na escola, sabia (graças talvez ao seu senso comum) que o Sol nascia em diferentes posições ao longo do ano, mesmo sem saber a causa.

De modo geral, as concepções dos alunos são provavelmente as mesmas de seus antigos professores; elas, possivelmente, conforme nos apontou a pesquisa de Bisch (1998) e Paula & Oliveira (2002) podem estar ligada aos erros conceituais ainda presentes nas representações de muitos livros didáticos.

Depois das atividades desenvolvidas nos diferentes ambientes de aprendizagem, principalmente com o planetário inflável e com o modelo do MAS, apareceram fortes indícios

⁵⁶ Não vamos apresentar o resultado provenientes de todas as seis perguntas da entrevista, pois elas geraram uma grande massa de dados e informações que contabilizaram quase cinquenta páginas. Vamos nos ater aqueles dados e informações que nos parecem mais pertinentes. As perguntas da entrevista encontram-se no anexo D.

da superação da maioria das concepções prévias imprecisas que boa parte dos alunos apresentava. Separamos alguns comentários que demonstram essa superação.

Rob, que tinha respondido explicitamente no questionário que o Sol nascia sempre no leste, agora na entrevista muda de opinião e com o modelo do MAS em mãos apresenta o seu novo ponto de vista:

“Além das três questões feitas originalmente: há alguma dúvida ou questão que você não conseguia dar conta, e que agora você consegue responder sobre este assunto? Qual?” (pesquisador).

“Seria isso que... (levando as mãos ao modelo do MAS) Dependendo da estação do ano... Do posicionamento da Terra... Ele [o Sol] pode nascer mais cedo ou mais tarde...

Isso aqui... (com o modelo do MAS em mãos) Mudou totalmente o meu conceito. Eu botei [no questionário] que o Sol nascia sempre ao leste como eu aprendi na terceira ou quarta série através daquele desenhinho de como se orientar: o Sol nasce sempre ao leste então estica o braço direito ao leste, então a frente é o norte, as costas o sul e a esquerda o oeste... (sempre fazendo gestos com os braços, apontando para as diferentes direções). Isso eu tinha como fixo... Tipo... Então o Sol ia nascer sempre ali [no leste] então. Tinha fixo pra mim e agora isso mudou... Tipo... Lá no planetário também deu para perceber isso.” (Rob).

Nos comentários de **Rob** podemos perceber que o modelo do MAS e o planetário inflável foram fundamentais para sua compreensão de que o Sol não nasce sempre exatamente na direção Leste; concepção esta que ele havia adquirido na escola através de um “desenhinho” (Rob) que provavelmente fora retirado de um livro didático desatualizado.

Kel, que nas respostas iniciais parecia ter um bom entendimento sobre o fenômeno, não mencionando explicitamente a sua crença sobre o Sol nascer ou não no leste, agora, em resposta a outra pergunta da entrevista deixa explícito o que havia aprendido na escola e o que mudou depois de ter participado das atividades.

“O que você teria a dizer sobre o nascimento do Sol durante o ano? Você chegou a aprender algo novo?” (pesquisador).

“Com certeza! Que ele não nasce só no leste como a gente tinha aprendido na escola, que conforme a movimentação e as estações e tal ele muda de lugar, ele nasce mais para um lado mais para o outro e que na verdade o Sol só nasce no leste dois dias por ano! Completamente fora do que a gente tinha aprendido na escola, mas foi bem bom saber. Aliás foi ruim saber que a gente estava errado né! A gente sempre pensou errado, mas foi bom descobrir o jeito certo de pensar.” (Kel).

Apenas *Pet* já sabia de antemão que o Sol não nascia sempre no leste, conforme os seus professores também lhe haviam ensinado, seu conhecimento sobre as diferentes direções do nascimento do Sol provinha apenas das suas observações realizadas no cotidiano.

“O que você teria a dizer sobre o nascimento do Sol durante o ano? Você chegou a aprender algo novo?” (pesquisador).

“Pelo que eu sabia o Sol não nasce né!... (sorrindo muito) A nossa visão dele assim oh!... Acontece... A gente consegue ver conforme o plano do horizonte!... É plano do horizonte né? Então conforme ele passa pelo plano do horizonte... (ao argumentar o aluno manipulava o modelo do MAS) Então a nossa visão, conforme o planeta vai girando então ele [o Sol] aparece... Em épocas a gente consegue ver ele por mais tempo... Em épocas por menos tempo... Em lugares da terra tu vai ver ele mais alto [no céu],[em outros] mais baixo.” (Pet).

“E em relação à posição tu terias algo a dizer?” (pesquisador).

“A posição ela vai variando né, conforme o ângulo... Tipo... Por exemplo... (manipulava o modelo do MAS)... Ela vai do norte... Vai indo até o... Um pouco pro leste... Começa no leste... Vai um pouco pro Sul... Volta pro Leste... Tem essa movimentação durante o ano.” (Pet).

“Você já sabia dessa variação da posição do nascimento do Sol durante o ano?” (pesquisador).

“Eu sabia que tinha uma variação, mas não sabia como, qual que era essa variação, como é que funcionava, para que lado que ia, o porquê. Pois eu sabia que o Sol nem sempre nascia no leste, apesar dos professores terem me ensinado onde ele nascia eu já tinha observado que às vezes aparece mais forte na janela, outras vezes aparece menos, algumas vezes mais pro canto [da janela].” (Pet).

“Olha só que interessante! E você nunca contestou teus professores?” (pesquisador).

“Não! É!... Eu nunca tinha parado para observar que eles tinham me ensinado que o Sol nascia sempre no leste.” (Pet).

Nos argumentos de *Pet* podemos perceber um domínio conceitual mais apurado que o utilizado pelos demais alunos, o que pode ser constatado pela utilização constante do modelo do MAS como recurso para expor seus argumentos e gerar as explicações da realidade; ele parece assim ter se apropriado das noções de plano do horizonte e de variação da direção do nascimento do Sol ao longo do ano com bastante propriedade.

Verificamos assim que os alunos, de modo geral, demonstraram ter modificado as suas concepções prévias em relação à direção do nascimento do Sol. Muitos deles, ou utilizaram o

modelo do MAS ou mencionaram o planetário inflável para demonstrar o seu “novo” conhecimento adquirido, ou seja, que o Sol não nasce apenas no leste como teriam aprendido na escola. Ele muda de lugar, dia após dia, lenta e gradualmente.

Em relação à projeção da sombra solar nos objetos ao meio-dia solar

Na segunda pergunta do questionário procuramos identificar as concepções prévias dos alunos no que diz respeito à mudança de posição da sombra solar e à variação do comprimento de sua projeção ao longo do dia para a cidade de Caxias do Sul. Depois de realizada a análise, verificamos que apenas uma minoria (quatro alunos) conseguiu apresentar argumentos válidos, demonstrando possuir uma noção explícita da altura do Sol e do comprimento da sombra solar ao meio-dia, mesmo com alguma limitação.

Na sequência, em outra pergunta feita durante a entrevista, procuramos saber o quanto essas concepções haviam evoluído. Conseguiriam eles relacionar a altura do Sol e a projeção da sombra solar nos objetos para uma determinada época do ano em Caxias do Sul? Mais precisamente, “em que época do ano, próximo ao meio-dia, a sombra produzida pelo Sol nos objetos é mais curta?”

Verificamos que, de todos os alunos entrevistados, sete demonstraram ter adquirido um bom conhecimento a esse respeito, pois previram que se tratava da estação de verão; na grande maioria das respostas os alunos manipulavam o modelo do MAS para justificar os seus pontos de vista. Citemos os casos de **Kel** e **Pet** como exemplos.

Kel consegue observar com o modelo do MAS, “*com o modelinho*” (kel), que no verão a sombra é mais curta, pois o Sol encontra-se mais alto no céu, gerando assim uma sombra menor em relação às outras estações.

“Em que época do ano, próximo ao meio-dia, a sombra produzida pelo Sol nos objetos é mais curta?” (pesquisador).

“No verão. Por que... Foi bem mais fácil observar isso com o modelinho (apontando com mão para o modelo do MAS) por que dá pra ver quando.... Quando... Como o Sol tá mais alto no verão...Tipo...Pelo espaço de tempo de luz ser maior, ele fica mais alto e por causa disso ele acaba...Acaba ficando...Ele acaba projetando uma sombra menor.” (Kel).

E **Pet** responde de imediato que esse fenômeno natural ocorre no início da primavera e do outono. Porém, sem muita convicção em sua resposta pega o modelo do MAS em mãos e

logo percebe o seu engano, é no verão que se dá esse acontecimento. É interessante apresentar o caso de **Pet**, pois ele é o único aluno que menciona explicitamente a proximidade do Sol da vertical do lugar, do “zênite” (Pet), nesta estação do ano.

*“Época do ano (olhava para o modelo)? É no... No início da primavera e do... Do outono... Que então o Sol...
Ah, não! Não! Não!... (levou a mão ao modelo tentando mostrar para o pesquisador) É no início do verão! Que daí ele vai ta mais pra cima... Então ele vai chegar mais próximo daquele... Daquele (levantou o braço esquerdo apontando-o para cima, na vertical)... Daquele ponto como é que chama... Ze... Ze alguma coisa?”*

“Zênite!” (pesquisador).

“Isso, zênite! Isso. Aquele ponto que fica bem em cima. Mas mesmo assim em Caxias ele [o Sol] nunca vai estar exatamente [no zênite], a sombra aqui sempre vai existir mas ela vai ser sempre mais curta [no verão]. Mas ela sempre vai continuar existindo” (Pet).

Mas há outros casos em que não houve uma mudança significativa. Casos em que os alunos (quatro ao total), não conseguiram relacionar a causa do fenômeno à estação de verão e tampouco tiveram iniciativa para utilizar o modelo do MAS como instrumento de auxílio para responder a pergunta. Citamos como exemplo os casos de **Mel** e de **Pri** que ilustram muito bem essa situação.

Mel, por exemplo, não apresentou muita segurança em seus argumentos, sempre respondia em forma de perguntas como se esperasse a confirmação do pesquisador. A aluna não teve iniciativa para utilizar o modelo do MAS, apenas o fez quando o pesquisador sugeriu essa possibilidade.

“Nos equinó ... No outono e no... Inverno... Outono e na primavera!? Ou é no verão?” (Mel).

“Não sei, eu gostaria de saber a tua opinião. O que você acha, você conseguiria talvez prever com o modelo ou de alguma outra forma?” (pesquisador).

“(A aluna pegou o modelo e começou a manipulá-lo) Acho que no verão!? Mas, não foi essa questão que a [Pri] tinha dito que era no outono e na primavera? Não sei se era isso, mas sei que a sombra mais longa era no inverno né? Não! Mais longa é no outono e na primavera, isso? Eu to te pedindo... Me explica!” (Mel).

“Desculpe-me, mas eu não posso te falar agora, mas depois eu te digo” (pesquisador).

“Boa pergunta... Agora eu estou me confundindo... Eu acho que é na primavera e no outono.” (Mel).

Pri, também apresenta dificuldades, tentando fazer a previsão correta ela apenas olha para o modelo do MAS que está sobre a classe, ao seu lado, e responde sem muita convicção.

“Mais curta?...Ah, tá! É quando tem...(olhou para o modelo do MAS) Quando tem aquele...21 de setembro e...21 de março... Por causa do Sol que nasce no leste e daí, consecutivamente ele estaria no centro!? Acho que é isso!” (Pri).

A dificuldade de **Mel** e de **Pri** em prever a estação em que ocorre o fenômeno é evidente, nessa situação elas não conseguem operar o modelo do MAS para relacionar a altura do Sol com a projeção da sombra. Mas compreendemos que essa pode ser uma dificuldade natural já que relacionar essas questões exige um grau bem maior de abstração que transcende ao próprio modelo. Com ele é possível fazermos uma comparação entre as alturas do Sol nos diferentes meses e estações do ano, porém, não é possível compararmos, diretamente, a relação entre as diferentes projeções de sombra; algo que seria mais fácil se observássemos a projeção da sombra em um gnômon nos diferentes meses do ano. Essa é uma consequência que não pode ser retirada diretamente do modelo do MAS, porém, com uma certa dose de imaginação é possível, como vimos nos casos de **Kel** e de **Pet** apresentados anteriormente.

Portanto, as dificuldades de **Mel** e **Pri** na previsão podem estar ligadas à própria dificuldade de conceber essas relações com o modelo, ou melhor, de partir dele para depois superá-lo.

Em relação à duração aproximada do dia claro

Na terceira pergunta do questionário tínhamos procurado identificar as concepções prévias dos alunos no que diz respeito à variação do período de luz solar ao longo do ano, da duração aproximada do dia claro. Foi quando percebemos que dos dez alunos que responderam a pergunta, quatro deles acreditavam que a duração do dia claro não mudava, ela continuava sempre a mesma.

Depois de trabalharmos essa questão com o planetário inflável e de forma mais precisa com o modelo do MAS, dois objetos-modelos didáticos conceitualmente semelhantes, percebemos que os alunos, de modo geral, aparentaram ter adquirido um bom conhecimento a esse respeito, pois um bom número se mostrou participativo e convincente em seus

argumentos e previsões. Mesmo assim, procuramos nos certificar. Tentamos identificar numa das perguntas da entrevista em que medida as concepções prévias desses alunos haviam evoluído, se eles recorreriam ou não ao modelo do MAS para gerar suas explicações e previsões da realidade. Desse modo, com uma pergunta mais específica, procuramos identificar se eles conseguiam prever em qual época do ano em Caxias do Sul a duração aproximada do dia claro era maior, isto é, em qual época do ano, em Caxias do Sul, o Sol fica a maior parte do tempo acima do plano do horizonte.

Verificamos então, que dos alunos que responderam a entrevista (onze ao total), apenas um deles não conseguiu responder a pergunta e tampouco operar com o modelo do MAS. Dos dez alunos que conseguiram respondê-la, sete manipularam o modelo para gerar as explicações e previsões, enquanto que outros três apenas olhavam para ele como se buscassem consultá-lo. Vejamos alguns casos.

Os casos de **Rob**, **Ted**, **Mel** e **Pet** ilustram muito bem a tendência do uso ou do recurso ao modelo do MAS para responder à pergunta; todos percebem que no verão o Sol fica por mais tempo acima do plano do horizonte.

“Você saberia dizer em que época do ano, em sua região, o Sol fica a maior parte do tempo acima do plano do horizonte?” (pesquisador).

“Seria o verão... Tem maior duração. (apontando com o dedo para o arco de circunferência indicativo da entrada do verão)” (Rob).

“Acho que é no verão. Porque tem mais tempo de luz solar durante o dia (apenas olhava para o modelo)... Porque os dias acabam se tornando mais longos.” (Ted).

“Acima do plano? (começou a manipular o modelo do MAS) Verão! Por que tem... 14 horas quase de Sol... (apontando com o dedo para o arco de circunferência indicativo da entrada do verão). Com o modelo é bem melhor de ver isso, por que tipo... Tem as escalinhas.” (Mel).

“No verão! Tipo... Com o modelo (apontou com a mão para o modelo do MAS) é super óbvio!... Não tem nem como contestar.” (Pet).

Já no caso de **Fra**, podemos observar o não entendimento do fenômeno; diferentemente dos outros colegas ela não faz uso do modelo para gerar a sua explicação e previsão da realidade; mesmo quando o pesquisador aventa o uso do modelo a aluna apresenta dificuldades.

“Você saberia dizer em que época do ano, em sua região, o Sol fica a maior parte do tempo acima do plano do horizonte?” (pesquisador).

“Eu... Eu não saberia.” (Fra).

“E como o modelo você conseguiria?” (pesquisador).

“É! Acho que sim. Deixa eu ver.. (apenas nesse momento a aluna pegou o modelo do MAS em mãos para então responder:) *Aqui no meio...* (apontando com o dedo para o arco de circunferência indicativo dos equinócios)” (Fra).

No caso de *Fra* é notável a dificuldade na previsão. Mesmo manipulando o modelo do MAS e regulando-o para Caxias do Sul, ela não consegue relacionar a estação de verão com o maior arco de circunferência da faixa. Diferentemente de seus colegas a aluna parece não ter se apropriado com muita propriedade dos conceitos atrelados ao modelo do MAS, do seu modelo teórico. Talvez exista aqui outro aspecto que mereça investigações futuras. Em qual medida *Fra* considera legítimo o uso do modelo? Explicando melhor: será que ela considera que operar o modelo é sinônimo de ‘ter aprendido’ alguma coisa? Estas questões são colocadas aqui por conta da seguinte hipótese: os alunos habitualmente não constroem e operam modelos no âmbito da sala de aula. E, se o fazem, talvez não atribuam a essa manipulação e às respostas que dela podem emanar o status de saber escolar. Talvez fosse de fato interessante pesquisar este aspecto.

Outros resultados importantes:

Ao analisarmos as entrevistas e o conjunto das atividades até aqui desenvolvidas e, com o intuito de apresentarmos alguns outros resultados importantes, procuramos estabelecer algumas relações no que diz respeito ao uso dos objetos-modelo didáticos em diferentes ambientes de aprendizagem e ao uso da transposição didática enquanto suporte metodológico e epistemológico para o ensino e aprendizagem dos objetos do saber astronômico.

Em relação aos objetos-modelo didáticos:

Durante o desenvolvimento da pesquisa verificamos (conforme se pode depreender dos relatos e comentários acima elencados) que os objetos-modelo didáticos foram em muitos momentos instrumentos valiosos para o ensino e aprendizagem dos objetos do saber astronômico, pois eles permitiram aos alunos, de modo geral, a compreensão de alguns

aspectos da realidade, ou melhor, da causa das estações do ano, do movimento aparente do Sol, das diferentes direções do seu nascimento e da duração aproximada do dia claro.

Conforme é possível observarmos nas respostas às perguntas da entrevista, o modelo do MAS e o planetário inflável foram fundamentais, por exemplo, para compreender por que o Sol não nasce apenas no leste. A frequente menção ou recorrência dos alunos a esses objetos-modelo didáticos, de fato, nos faz perceber a função e a potencialidade dos modelos no ensino, como apontam Martinand (1994-5, 1987), e também Astolfi e Develay (1995, p. 103): eles são instrumentos para representar o que “[...] não se apresenta facilmente à observação.” Quem passaria um ano levantando cedo para observar as diferentes posições do nascimento do Sol? Com um modelo adequado isso simplesmente não é mais necessário.

Concari (2001) sustenta que os modelos são instrumentos para compreender e conhecer a realidade. Com o modelo do MAS compreender se torna de fato possível, e a maioria dos alunos “compreendem” que o Sol no verão em Caxias do Sul fica mais tempo acima do plano do horizonte se comparado às outras estações, por aproximadamente 14 horas. O leitor perceberá que compreender vai além de poder responder, isoladamente, à pergunta: quanto dura o dia claro em Caxias do Sul, no auge do verão? Compreender implica em poder prever, por exemplo, que no polo sul em alguns meses o Sol é visto por mais de 24 horas acima do plano do horizonte e que em outros ele não é visto pelo mesmo período. Os alunos não precisam “ir ao polo sul” para conhecer a duração aproximada do dia claro, basta saber a latitude da região, regular o modelo e analisar os arcos de circunferência para cada uma das estações do ano. Compreender também inclui a constatação, tirada do cotidiano de cada um, de que os dias claros ao longo do ano têm durações diferentes. Assim, como nos diz Martinand (1994-5), é na passagem do concreto ao abstrato, do abstrato ao concreto, do teórico ao experimental, num processo de vai e vêm entre observações e teorias que se encontra o modelo como fonte mediadora de representação do conhecimento.

Então, compreender e conhecer não são as únicas funções dos modelos, e Pinheiro, Pietrocola & Alves filho (2001) sustentam exatamente este ponto de vista. Os modelos também são instrumentos para “[...] explicar, prever, calcular, manipular, formular” (p. 38) alguns aspectos da realidade ou alguns aspectos dos problemas levantados sobre ela, sendo as funções de explicação e previsão as mais importantes. “Explicar é uma função importante no momento de elaboração do pensamento. A explicação pode passar pela analogia ou pela análise das relações entre elementos do sistema que serve de modelo” (p.39). Já prever é “[...] antecipar o desenvolvimento de uma teoria interpretativa que constitui o fenômeno” (idem).

De fato, com o modelo do MAS podemos, por exemplo:

Explicar porquê, em determinadas regiões do planeta Terra, o Sol nunca atinge o zênite; porquê o dia claro do verão é maior que o dia claro da primavera, do outono e do inverno; porquê o Sol só nasce exatamente no leste em dois dias do ano.

Prever que a melhor localização de uma casa para receber a maior incidência solar durante o ano, ou que a duração aproximada do dia claro, hoje, em Londres, é maior ou menor que a noite;

Calcular a duração aproximada do dia claro e a duração aproximada da noite, em qualquer época do ano, em qualquer região da Terra.

Podemos formular questões de todo o tipo. Qual será a duração aproximada do dia claro em Caxias do Sul em novembro? Ela será maior ou menor que em Montreal nesse mesmo mês? Para isso basta saber a latitude das regiões, regular a faixa e, analisar e comparar as medidas na escala de tempo. Com o modelo em mãos obteremos uma resposta rápida e bastante aproximada. Porém, na verdade a manipulação e o cálculo são etapas complementares ao processo de elaboração de uma construção mental.

Conforme consideram Pinheiro, Pietrocola & Alves Filho (2001), a modelização é uma atividade essencial no âmbito do ensino de ciências já que ela é fruto de “um processo que consiste na elaboração de uma construção mental que pode ser manipulada e que procura compreender um real complexo” (p. 39). Assim percebem que no centro dessa atividade o uso de “imagens, símbolos, esquemas, gráficos e maquetes” (id.) auxiliam na manipulação e na comunicabilidade do modelo. Os autores, porém, chamam a atenção para o uso destas formas de representação, que em muitos casos podem ser excessivamente ambíguas.

Em algumas situações, como mostramos acima, alguns alunos não se apropriaram de boa parte da significação do modelo do MAS. Eles não conseguiram operar com o objeto-modelo didático e realizar explicações e previsões da realidade, como nos casos de *Mel* e de *Pri* que não conseguiram prever e explicar em qual estação do ano a sombra solar projetada nos objetos é mais curta ao meio-dia solar. Porém, entendemos que há um conjunto de relações complexas para responder a essa questão; é preciso constantemente sair e voltar ao modelo do MAS para poder pensar sobre ela e chegar a um entendimento. Trata-se de uma resposta que não se obtém diretamente do modelo, e por isso é perfeitamente compreensível que alguns alunos apresentassem dificuldades.

Porém, houve casos isolados em que, mesmo havendo a possibilidade de realizar inferências sobre a realidade a partir do modelo do MAS, isso não aconteceu. No caso de *Fra*

fica demonstrado que ela não conseguiu explicar e prever em qual época do ano, em Caxias do Sul, o Sol fica a maior parte do tempo acima do plano do horizonte. Parece-nos que a aluna não conseguiu se apropriar de parte do modelo teórico presente no objeto-modelo didático, por isso talvez tenha apresentado dificuldades em operar com ele. Acreditamos que essa dificuldade pode ser inerente à não compreensão da própria natureza mediática e metafórica que o modelo do MAS supõe, pois conforme reforçam Galagovsky *et all* (2001) e Aduriz-Bravo & Morales (2002), embora os modelos didáticos resultem da “percepção dos componentes abstratos dos modelos científicos” (2002, p. 77) servindo muitas vezes como “simplificadores de conceitos mais complexos” (2001, p. 236) nem sempre os alunos conseguem percebê-los como tais.

Contudo, em muitos casos, conforme mostramos ao longo desse capítulo, a maior parte dos alunos parece ter se apropriado pelo menos de parte dos conceitos do modelo do MAS, e também de parte de seu modelo teórico, pois conseguiram manipulá-lo com bastante propriedade, gerando explicações e previsões da realidade de forma bastante convincente.

Em relação à transposição didática:

Do ponto de vista da transposição didática e respondendo ao nosso problema de pesquisa, verificamos que os objetos-modelo do tipo concreto, enquanto re-representações de objetos-modelos do tipo científico permitem de fato a passagem do saber sábio ao saber ensinado, transformando-o em um saber possível de ser aprendido. Conforme observamos durante a entrevista a maioria dos alunos frequentemente recorria ao modelo do MAS para responder às perguntas que lhes eram formuladas, ou às formuladas por eles próprios. Alguns comentários demonstram o quanto o modelo foi importante na compreensão do assunto. Separamos os de **Rob**, **Tor**, **Ted**, **Pet**, **Bel** e **Leo** como exemplos.

“Com o modelo é claro, rápido e prático! Só mudar aqui [na faixa] que tu já vai saber”(Rob).

“Aqui com o modelo é bem simples... Tipo... Eu achei que foi bem rápido pra entender o assunto e tal... Bem mais rápido do que lendo... Tipo... Com a explicação seria mais difícil do que ver no modelo. Aqui [com o modelo do MAS] é óbvio!” (Tor).

“[...] me chamou a atenção a simplicidade, principalmente a do modelo [do MAS][...] É só mexer aqui [na faixa] que tu já vai saber... É prático né!... É só olhar aí que tu já vai saber... É universal né! Não é só pra aqui pra

Caxias... Pode ser [utilizado] para qualquer um dos lugares [do planeta]” (Ted).

“Não, eu não conseguia prever [a duração aproximada do dia claro], até tinha ouvido minha mãe comentar alguma coisa, mas eu não sabia muito bem como era, mas analisando pelo modelo [do MAS] é óbvio” (Pet).

“Eu nunca tinha parado para pensar sobre isso (sobre qual a melhor localização de uma casa para que a parte da frente recebesse mais luminosidade durante o ano), mas que nem hoje na discussão da aula, com o modelo [do MAS] da para ver melhor isso... Dá para visualizar melhor e ver que é o norte!” (Bel).

“[...] o modelo me ajudou bastante, por exemplo, para responder as perguntas, eu não saberia se não fosse com o modelo e, eu não imaginava dessa forma sabe [...] isso mudou muito o meu modo de pensar” (Leo)

Alguns alunos também comentaram que o modelo do MAS foi importante na compreensão dos fenômenos naturais em investigação, mas, também comentaram que o planetário inflável teve igual importância. Foi interessante perceber que para alguns alunos o planetário ajudou a entender melhor o modelo do MAS, conforme podemos observar a seguir no comentário de **Rob**; e para outros foi o contrário, o modelo do MAS ajudou a compreender melhor o planetário, conforme podemos observar a seguir no comentário de **Tor**. Essa constatação é importante, pois nos parece que cercar os alunos de diferentes ambientes de aprendizagem e de uma pluralidade de objetos-modelo didáticos para tratar de um mesmo conjunto de fenômenos naturais pode sim favorecer a aprendizagem.

O comentário de **Rob**:

“Se eu não tivesse realizado nenhuma outra atividade anteriormente, somente a atividade da construção, manipulação e previsão com o modelo do MAS você acha que conseguiria entender algumas coisas? Ou melhor, as outras atividades que realizamos até aqui também te ajudaram a entender o assunto?”(pesquisador)

“Ajudaram sim! O planetário também ajudou... Mas acho... Eu acho que consegui perceber só com o modelo [do MAS] ... Talvez sem o planetário. O planetário ajudou bastante também... A observar a posição do Sol ...As estações... Tipo... Ajudou bastante... Só que o modelo [do MAS] também né!... Acho que o planetário faria falta também... Foi boa aquela explicação... Mas não sei se não tivesse o planetário?...Também daria eu acho” (Rob).

O comentário de **Tor**:

“[...] E lá no planetário e tal... Eu achei bem mais complicado que essa parte aqui com o modelo [do MAS]. (Tor).

“Você está querendo dizer que entendeu melhor o planetário...?” (pesquisador).

“A partir do modelo [do MAS]. Eu achei que sim, foi bem mais rápido” (Tor).

Mas não somente o planetário inflável e o modelo do MAS parecem ter feito a diferença. Em alguns comentários o modelo Sol-Terra também aparece como objeto-modelo didático em destaque. Ele parece ter auxiliado alguns alunos na compreensão da causa das estações do ano. Separamos os casos de *Pet* e de *Mel*, que por sua vez, já havia comentado anteriormente que somente agora, no final do ensino médio, teria enfim aprendido.

O comentário de *Pet*:

“Também consegui entender melhor a questão das estações, que eu não entendia o porquê né!... Eu sabia como é que funcionava, mas eu sempre imaginava que fosse da tal proximidade do Sol. Mas realmente não faria sentido mesmo, observando na prática é natural que não faz sentido isso. Que tem que ser pela... Pela posição da Terra mesmo... Pelo ângulo assim da Terra... pelo ângulo não!...Pela inclinação [do eixo] em relação ao Sol” (Pet).

O comentário de *Mel*:

“Sim! A questão das estações que eu te falei até... Que eu não aprendi na segunda série e vim aprender só aqui no terceiro ano. E eu acho que tu explicou bem... A forma que tu explicou também, foi bem bom assim... Aquela questão do globo e da luz [do retroprojektor], eu achei... Ali eu consegui entender, mas, se tu tivesse explicado só no quadro eu não entenderia” (Mel).

Quando pensamos na teoria da transposição didática (TD) enquanto suporte metodológico e epistemológico para ensinar os objetos do saber astronômico, chegamos ao entendimento de que não bastava ensinar os alunos a simplesmente manipular o modelo do MAS para gerar explicações e previsões da realidade. Eles teriam que, em algum momento, desenvolver uma noção sobre os conceitos que a ele estavam atrelados, uma vez que, conforme Bunge (1974) os objetos-modelo (do tipo material ou concreto), mesmo sendo facilitadores na compreensão e no conhecimento de ideias difíceis, são de pouca valia para a

ciência se não tiverem um modelo teórico que especifique o comportamento da coisa ou fato em estudo.

Conduzidos pelo espírito da vigilância epistemológica postulada na TD sabíamos de antemão que os conceitos presentes no modelo do MAS não seriam tão simples de serem compreendidos pelos alunos. Os objetos do saber astronômico projetam, regulam e colocam em funcionamento um objeto-modelo didático, mas há aí um problema que é inerente à própria possibilidade de conhecer, o que nos levou a “[...] repensar, tomar distância, interrogar as evidências, por em questão as ideias simples, desprender-se da [sua] enganosa familiaridade [...]” (CHEVALLARD, 2005, p.16). Foi então que decidimos elaborar diferentes ambientes de aprendizagem e diversos objetos-modelos que legassem aos alunos a possibilidade empregarem diversos pontos de vista ao se debruçarem sobre inúmeros conceitos, tais como, o plano do horizonte, a esfera celeste, o movimento aparente do Sol, a posição do nascimento do Sol, entre outros.

Em muitos casos, como mostramos anteriormente, essa parece ter sido uma boa estratégia de ensino, pois após terem passado por toda uma gama de atividades de modelização, numa espécie de “circuito epistemológico” os sujeitos desta pesquisa (os alunos) parecem ter se apropriado de boa parte do conteúdo do modelo teórico presente no modelo do MAS, conseguindo manipulá-lo sem muita dificuldade.

À guisa de finalização gostaríamos de destacar dois comentários bastante interessantes que demonstram o quanto os modelos tridimensionais (que de alguma forma podem ser manipulados) parecem ser mais significativos que os modelos bidimensionais (em forma de desenhos ou figuras, encontrados em livros didáticos) afetando em um grau mais elevado o sistema cognitivo dos alunos e conseqüentemente auxiliando-os na aprendizagem.

O comentário de *Kel*:

“O que mais te chamou atenção nas atividades?” (pesquisador).

“Eu adorei ir no planetário [...] eu tinha comentado com algumas pessoas que a gente ia lá mas ninguém que eu tinha comentado conhecia. Aí tipo [...] foi muito legal assim perceber o movimento... [...] Às vezes a gente não se toca né! Mas tá acontecendo tanta coisa ao nosso redor... Sabe, foi bem mais fácil de aprender, de entender as coisas vendo elas acontecendo...Tendo uma forma de olhar e observar assim (olhou para o modelo do MAS) [...]. Quando a gente aprendeu isso, a gente aprendeu olhando pros livros, olhando fotinhos, olhando desenhos e é bem diferente você ter uma coisa assim que possa olhar e mexer e ver assim (pegou em mãos o modelo do MAS) ... Sabe, tu olha no livro e tu até consegue ter uma

base por que tem imagens e tal, tem fotos, mas nem sempre você consegue associar o movimento porque não está se movimentando tu tá olhando para fotos, tu vê uma imagem. E quando tu vê um... (apontou com a mão para o modelo do MAS) Tu entende o movimento, fica bem mais fácil” (Kel).

“Mas aqui [no modelo do MAS] também não está se movimentando né, digo, o Sol no caso?” (pesquisador).

“Tá, é! Mas é bem mais fácil tu imaginar o Sol passando por aqui (apontando com a mão para os arcos de circunferência da faixa). É bem mais fácil tu imaginar aqui do que com imagens [dos livros]. E eu entendi muito melhor usando uma coisa visível assim (apontou para o modelo do MAS) e tenho quase certeza que os outros alunos também iam preferir” (Kel).

O comentário de **Pet**:

“O que me chamou atenção é que a gente nunca tinha feito isso... Na verdade por que é muito...Sei lá foi bem mais simples de entender de ver toda essa questão do Sol... (fazia gestos com a mão em direção ao modelo do MAS) Da duração da luz do dia... Das estações [...] Nossa foi muito mais simples da gente entender (novamente fazia gestos em direção ao modelo do MAS) do que... Do que simplesmente por desenhos e coisa e tal” (Pet).

“Foi mais simples de entender como, com o que?” (pesquisador).

“Com o modelo [do MAS], com aquela atividade que a gente fez com o globo que ia girando pelas classes e a luz [o retroprojektor] no meio que ia projetando a luz” (Pet).

“Você acha que os modelos te ajudaram a entender melhor o assunto então?” (pesquisador).

“Ajudaram bastante. O planetário também...” (Pet).

“E Se você tivesse que estudar num livro esse assunto, por exemplo, você entenderia?” (pesquisador).

“Eu até... Talvez até entendesse... Quer dizer... Eu ia entender com certeza, mas eu ia demorar com certeza muito mais tempo e não ia ficar... Provavelmente não ia ficar aquela coisa... Tipo... Gravada na memória emocional assim... Acho que é, mas não sei como é que se chama isso. Tem uma memória que é mais de experiência que a gente teve sabe... Tipo... Não de conceito. Se eu tivesse aprendido pelo livro eu iria até ter aprendido o conceito, ah! O sol nasce assim e tal... Mas assim ficou na memória da minha experiência, eu já vi isso (apontava para o modelo do MAS). Quando alguém me perguntar eu vou pensar ah! Eu já vi isso e funciona assim... Eu vou lembrar do modelo e o Sol vai passar assim, sabe... (fazia gestos com as mãos em direção ao modelo do MAS)” (Pet).

“Eu achei muito legal o trabalho e que deve ser levado a frente no sentido de... Deve ser usado mesmo nas escolas e eu acho que isso tem que ser digamos assim espalhado, assim penso eu” (Pet).

“Porque você acha que deve ser espalhado nas escolas?” (pesquisador)

“Pois com certeza vai ser muito mais fácil pras pessoas... Principalmente para as crianças. Eu acho que pode ser aplicado com crianças bem mais novas [...] Já poderia ser usado todo esse formato, todo esse método. Eu acho que vai ser muito mais fácil das crianças aprenderem” (Pet).

CONCLUSÃO

A investigação que guiou a dissertação foi a de explorar a pertinência das práticas de modelização em diferentes ambientes de aprendizagem à luz da teoria da transposição didática. O problema de pesquisa ficou então: “os objetos-modelo didáticos permitem a transposição do saber sábio ao saber ensinado?”

Começamos analisando as noções de modelo na ciência, desde sua inserção na investigação científica até a sua concepção mais contemporânea. Verificamos assim, que atualmente não é possível dizer de modo universal o que é um modelo. O que é um modelo? Um desenho, um diagrama, um esboço, uma ilustração, um objeto concreto (maquete), uma estrutura matemática (modelo simbólico), um software de computador, uma cópia de alguma coisa (modelo icônico), tudo isso pode ser considerado modelo de algo. Tomados no sentido epistemológico todos podem ser considerados como estruturas concretas ou abstratas que visam de alguma forma representar alguns aspectos de uma determinada realidade - fato ou coisa (BUNGE 1974), fenômeno (LE MOIGNE 1987).

Tomando como referência a epistemologia dos modelos de Mário Bunge (1974) e algumas postulações da didática das ciências, propomos para o ensino de alguns objetos do saber astronômico a noção de objeto-modelo mecânico concreto analógico didático ou, simplificada, objetos-modelo didáticos, para designar a pluralidade de modelos didáticos utilizado pelos participantes dessa pesquisa, nos diferentes ambientes de aprendizagem.

Vimos que os objetos-modelo didáticos são re-representações conceituais figurativas, materiais ou concretas de objetos-modelo científico, obtidos no processo da transposição didática. Porém, eles valem pela estrutura teórica que carregam, ou como nos diz Bunge, pelo seu modelo teórico ou teorias específicas. Na ciência os objetos-modelo funcionam como pontes de ligação entre a realidade (coisa, fato, fenômeno) e as teorias gerais. Sem essas idealizações e simplificações, nos mostra Mário Bunge, não há como obter prova empírica, não há como testar a plausibilidade das teorias em relação aos fatos. Sem modelos a realidade torna-se muito mais complexa e desconhecida.

Esta estrutura teórica, incorporada em um objeto (objeto-modelo) que é modelo de algo, é detentora de um conteúdo lógico e de um conteúdo psicológico, como nos trouxeram Simon & Newell (1954). O primeiro (o conteúdo lógico) diz respeito ao conjunto de asserções, de afirmações que a teoria é capaz de fazer da realidade. O segundo (o conteúdo psicológico) diz respeito ao conjunto de afirmações que o modelizador, de fato, é capaz de

retirar dela. Como nunca o modelizador tem acesso a todo o conteúdo lógico de uma teoria, cabe a ele buscar maneiras de ter acesso (psicologicamente) a pelo menos uma parte dele, através daquilo que é possível ser inferido da teoria.

Desse modo, consideramos que os objetos-modelo científicos são, em muitos casos, portadores de um conteúdo lógico amplamente abstrato e complexo. Por isso, necessitam passar pelo processo de transposição didática para se tornarem objetos-modelos didáticos, aparecendo como conteúdo psicológico da teoria. Assim, ocupamo-nos, predominantemente nesta pesquisa, das formas de apropriação que os estudantes concretizaram, de parte deste conteúdo lógico. Falamos então desta apropriação, deste conteúdo psicológico.

Exemplifiquemos com um elemento de nosso trabalho de investigação: O “objeto concreto”, o modelo do MAS, que *Rob* manipula, propicia a ‘ponte’ entre o saber sábio, o conteúdo lógico do modelo, e o saber ensinado na forma em que foi apropriado, o conteúdo psicológico. Citando as palavras do aluno: “Com o modelo é claro, rápido e prático! Só mudar aqui [na faixa] que tu já vai saber” (*Rob*). De fato, os modelos são representações do conhecimento. A afirmativa “são os modelos que nos permitem conhecer” passa certamente pela idéia de conteúdo psicológico.

Outra evidência interessante dos modelos, e da transição lógico – psicológico foi a questão da sombra móvel versus a sombra imóvel durante a modelização do modelo Sol-Terra, no laboratório de Física (p. 144). Para um observador na Terra, a sombra de um objeto é móvel ao longo do dia, isso é algo tremendamente trivial, e é assim que *Gil* percebe a questão: “*Não! Ela [a sombra] não fica parada não.*” (*Gil*) Entretanto, *Pet* argumenta na observação que não, a sombra não se move, ela fica parada em relação ao globo! Ele diz isso a partir de um objeto-modelo didático no qual o Sol é representado por uma fonte de luz fixa (um retroprojetor). Convenhamos que não é uma forma usual, e muito menos trivial, de ‘ver’ a sombra de um objeto! A sombra que este projeta, no espaço, é fixa. Porém, a ideia de que quem se move, é a Terra, colocada por *Kel* refazendo o ponto de vista de *Gil e Pet* é surpreendente! Ela fornece a ideia de um dos aspectos do movimento aparente do Sol, o movimento de rotação da Terra!

A questão da diferenciação modelo científico – modelo didático tem provocado o gasto muitos mililitros de tinta (ou mais modernamente, implicado na digitação de muitos milhões de teclas...). Nesta dissertação, a questão pode ser vista a partir de uma perspectiva didática bastante fértil. Em primeiro lugar, fica claro que um objeto-modelo didático nunca (ou quase nunca) pretenderá esgotar, no contexto da sala de aula, todo o conteúdo lógico de um objeto-modelo científico. Exemplifiquemos com o modelo do MAS.

A duração aproximada do dia claro, em qualquer época do ano, em qualquer lugar do mundo, é um conteúdo lógico que foi apropriado pelos alunos e esta pesquisa mostra isso (conforme é possível observar em alguns dos resultados dessa pesquisa).

O modelo Sol-Terra representado por um retroprojeter (figura 8, p.145) poderia abrir caminho para um conteúdo lógico inexplorado nessa dissertação, a “questão da medida do relógio”: por que o Sol a pino num dado local não coincide (em geral) com o meio dia do relógio? Para isso, o modelo precisaria ser aperfeiçoado através da consideração de que a órbita da Terra não é perfeitamente circular (apesar de estar muito próxima disto); a elipse descrita (com o Sol num dos focos) implica numa velocidade orbital da Terra em torno do Sol variável, e a intensidade dessa variação depende da época do ano. Ocorre assim uma alteração (cumulativa) na duração do dia solar; a questão do relógio pode então ser respondida a partir daí.

Isso não foi feito neste estudo, e é bom esclarecer que não se trata de uma falha. Primeiro, porque o conteúdo lógico de certos modelos é imenso, e é de fato inexplorável por completo no contexto de sala de aula. E em segundo lugar, o conteúdo escolar nunca é uma cópia completa e fiel do assim chamado saber sábio. Incidentalmente, é muito bom dizer isso aos nossos alunos...

O que foi exposto acima mostra que a diferenciação objeto-modelo científico – objeto-modelo didático, tal como foi explorada neste estudo, configurou-se em torno dos elementos previstos: o nível de abstração dos modelos didáticos foi de fato menor; o número de variáveis foi reduzido (por exemplo, a questão da excentricidade da órbita da Terra não foi explorada); ocorreu um uso frequente de analogias e metáforas; foram considerados alguns elementos históricos, mesmo que incipientes, para relacionar os objetos da ciência erudita aos objetos da ciência escolar.

Outro elemento importantíssimo neste estudo, relacionado às práticas de modelização, é o do ambiente de aprendizagem no qual ela se desenvolve. Por ambiente de aprendizagem entendemos o local onde as pessoas estão, os recursos disponíveis e a forma com que interagem dentro dele. Alternando entre ambientes formais e não-formais de aprendizagem, alternam-se, também, as formas de observar, intuir e raciocinar sobre os objetos do saber astronômico. *Bel* menciona, em certo momento, os problemas da ‘visão plana’: “*É, assim. Somente no quadro*” (*Bel*). E *Pet* completa: “*O problema é que no quadro a gente tem uma visão plana, né?*” (*Pet*). Os modelos empregados, elementos centrais desses ambientes de aprendizagem (modelo Terra-Sol, modelo do MAS, planetário) de fato incitam a mente a funcionar em três dimensões.

Objetos-modelo didáticos como “cristalizadores” de conceitos, de espaço e de tempo. Essa visão tridimensional acaba propiciando a oportunidade de resolução de problemas realmente complexos, como o de determinar a melhor orientação das aberturas de uma casa, para efeitos de melhor insolação. Mas, além da visão tridimensional, há nos modelos didáticos uma “cristalização” de um sem número de observações, feitas ou não. Escalas de tempo são “encolhidas”, um ano “passa” em alguns minutos. Não precisamos repetir metodicamente observações, ao longo de pelo menos um ano. *“É norte! Sem o modelo eu acho que teria que ficar observando, acordando cedo e olhando o sol durante o dia!” (Pet).* Nem precisamos viajar à Inglaterra: *“Caraca! É muito frio! [...] nossa, agora eu entendi sobre os punks e a sopa de batata! Não! Agora eu entendi, mesmo!” (Kel).*

A questão da vigilância epistemológica: de fato, os estudantes entrevistados evidenciaram uma percepção de como o conhecimento é veiculado que é bastante crítica. *“Com certeza! Que ele não nasce só no leste como a gente tinha aprendido na escola” (Kel).* *“[...] Eu nunca tinha parado para observar que eles [os professores] tinham me ensinado que o Sol nascia sempre no leste.” (Pet).* *“Eu botei [no questionário] que o Sol nascia sempre ao leste como eu aprendi na terceira ou quarta série [...] (Rob)* Entretanto, esta crítica se concentra, de forma talvez burocrática, nos erros conceituais dos livros ou dos professores, o que é, aliás, perfeitamente pertinente e válido.

Essa visão crítica, manifestada em certos momentos pelos sujeitos da pesquisa, é uma possível aliada da autonomia de julgamento. Já, os objetos-modelo didáticos podem propiciar esta autonomia. O primeiro “espaço de prova” se concretiza no âmbito do modelo. É durante sua manipulação que se dá a “prova” da correção ou incorreção das hipóteses feitas. Os estudantes têm condições de, aos poucos, retificarem seus modelos mentais.

Esta retificação tem como ponto de partida as concepções prévias dos alunos. É nelas que tudo começa. Nas palavras de *Rob*, em resposta a uma das perguntas do questionário: *“[...] o sol nasce sempre no mesmo lugar, o leste’.* E depois, nas entrevistas finais, ele diz: *“[...] Tinha fixo isso para mim e agora isso mudou”.* *Rob*, no final, “extraí” uma resposta consistente à questão *“onde nasce o sol, ao longo do ano, do ponto de vista de um mesmo lugar?”* Mas ele não “aprende” simplesmente a “resposta correta”, ele a elabora: *“Só mudar aqui, tu já vai saber”.* E *Rob* “aprende”, de fato. Ele aprende, pois desenvolve um modelo, predominantemente mental, que lhe permite responder a esta questão, e eventualmente a muitas outras, mais ou menos correlacionadas a esta.

Respondemos à questão dessa dissertação? “os objetos-modelo permitem a transposição do saber sábio ao saber ensinado?”

A resposta, em diversos níveis, foi dada acima. E ela é afirmativa: sim, os objetos-modelo didáticos permitem transposições, na verdade eles as potencializam de forma às vezes surpreendente. Entretanto, os objetos-modelos didáticos também nos ensinam que esta transposição não é um degrau, e sim um processo. Ela se dá gradualmente, respeitando o “tempo do ensino” tanto quanto o “tempo da aprendizagem” (CHEVALLARD, 2005).

REFERÊNCIAS

Capítulo 1

ARMATTE, Michel; DALMEDICO, Amy D. **Modèles e modélisations, 1950-2000 : Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux/ Models and modeling, 1950-2000 : New pratics, new implications.** Revue d'histoire des sciences, année 2004, tome 57, n° 2. p. 243 - 303.

ARMATTE, Michel. **La notion de modèle dans les sciences sociales : Anciennes et nouvelles significations.** Mathématiques et Sciences Humaines. Mathematics and Social Sciences. 43e anueé, n° 172, 2005 (4), p. 91-123.

BIBLIOTECA SALVAT DE GRANDES TEMAS. **Linguística e Significação.** Salvat Editora do Brasil, S. A. Rio de Janeiro, 1979, p. 37-8.

BIEMBENGUT, Maria S. **Modelagem matemática & implicações no ensino e aprendizagem de matemática.** Blumenau: Furb, 1999.

BOYER, Carl B. **História da Matemática.** Tradução de Elza F. Gomide. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

BUNGE, Mário. **Teoria e Realidade.** Coleção Debates. Tradução de Gita K. Guinsburg. Editora Perspectiva S. A. São Paulo, 1974.

CHAVES, Maria I. A.; ESPÍRITO SANTO, Adilson O. **Um modelo de modelagem matemática para o Ensino Médio.**

Disponível em: www.somaticaeducar.com.br/arquivo/artigo/1-2008-11-02-15-45-29.pdf

Acesso: Jul. 2009

DAHMEN, Silvio R. **Ludwig Boltzmann: vida e obra.** Revista Gazeta da Física. Fascículo 2, Vol. 30. Jul. 2007.

DUTRA, Luiz H. A. **Os modelos e a pragmática da investigação científica.** Scientiae Studia. São Paulo, 2005, v.3, n.2, p. 205-32. Disponível em: http://www.scientiaestudia.org.br/revista/PDF/03_02_02.pdf Acesso: Nov. 2009.

DUTRA, Luiz H. A. **A ciência e o conhecimento humano como construção de modelos.** *Philosophos: revista de filosofia.* Volume 11. n 2. 2006 (2). Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/index.php/philosophos/issue/view/505> Acesso: Abr. 2010.

FRENCH, Steven. **Ciência: Conceitos-chave em filosofia.** Tradução de André Klaudat. Porto Alegre: Artmed, 2009.

HILLIER, Frederick. S. & LIEBERMAN, Gerald. J. **Introdução à Pesquisa Operacional.** Tradução de Ariovaldo Griesi. 8 ed. São Paulo: McGraw-Hill - Artmed , 2006.

LE MOIGNE, Jean-Louis. **A Teoria do Sistema Geral: teoria da modelização.** Tradução de Jorge Pinheiro. Coleção Pensamento e Filosofia. Lisboa: Instituto Piaget, 1977.

LE MOIGNE, Jean-Louis. **Qu'est-ce qu'un Modèle ?** *Confrontations Psychiatriques*, 1987, número spécial consacré aux modèles.

Disponível em: <http://www.mcxapc.org/docs/ateliers/lemoign2.pdf> Acesso: Jun. 2010.

LOIUÂPRE, Muriel. **Avant-propos**, *Romantisme* 4/2007, nº 138, p. 3-9. Disponível em: www.cairn.info/revue-romantisme-2007-4-page-3.htm. Acesso: Jun. 2010.

MORA, José F. **Dicionário de Filosofia.** Tradução: Roberto Leal Ferreira, Álvaro Cabral. 4ª Ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001. p. 480-83.

MULLER, Ana L.; NEGRÃO, Esmeralda V.; FOLTRAN, Maria J. (Orgs.) **Semântica Formal.** São Paulo: Editora Contexto, 2003.

OLIVEIRA, Cêurio. **Dicionário Cartográfico.** 4ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 1993, p.101.

PIETROCOLA, Maurício. **Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos.** *Investigações em ensino de ciências.* Volume 4, n. 3, 1999. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/> Acesso: Dez. 2010

SIMON, Herbert. A. & NEWELL, Allen. **“Models: their uses and limitations”**. In: *The states of the Social Science.* L. White (Org.). The University of Chicago Press, 1956.

TRANJAN, Tiago. **A Sintaxe lógica da linguagem de Rudolf Carnap: uma análise do princípio de tolerância e da noção de analiticidade.** (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, 2005.

Capítulo 2

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín.; MORALES, Laura. **El concepto de modelo en la enseñanza de la física – consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas.** Caderno Catarinense de Ensino de Física., v.19, n.1: p.76-88, abr. 2002.

ALVES-FILHO, José de P.; PINHEIRO, Terezinha de F.; PIETROCOLA, Maurício. **A Eletrostática como exemplo de Transposição Didática.** In: Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Maurício Pietrocola (Org.). Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001b.

ASTOLFI, Jean-Pierre.; DEVELAY, Michel. **A didática das ciências.** Tradução de Magda S. S. Fonseca. 4ª Ed. Campinas, SP: Papirus, 1995.

BROUSSEAU, G. **Fondements et méthodes de la didactique dès mathématiques.** Recherches em Didactique dès Mathématiques, vol. 7, no. 2, Grenoble, 1986.

CAMPOS, Edison de Faria. **Transposición didáctica: definición, epistemología, objeto de estudio.** Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática. 2006, Año 1, n. 2. Disponível em: <http://cimm.ucr.ac.cr/ojs/index.php/CIFEM/article/view/9> Acesso: Jun. 2008.

CHEVALLARD, Yves. **La Transposición Didáctica: Del Saber Sábio Al Saber Enseñado.** Tradução de Claudia Gilman, 3.ed. Buenos Aires: Aique grupo Editor, 2005.

CLERC, J-B.; MINDER, P.; RODUIT, G. **La transposition didactique.** 2006. Disponível em : <http://lyonelkaufmann.ch/histoire/MHS31Docs/Seance1/TranspositionDidactique.pdf> Acesso: Set. 2010.

CONCARI, Sônia B. **Las teorías e modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias.** Ciência & Educação, v. 7, n.1, p.85-94, 2001. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacao/viewarticle.php?id=114&layout=abstract>

Acesso: Jan. 2011.

CUDMANI, L. Colombo de.; SANDOVAL, L. Salinas de. **Modelo físico e realidade. Importância epistemológica de sua adequação. Implicações para a aprendizagem.** Tradução de Bartira C. S. Grandi e Márcia P. Hofmann (Depto. de Física – UFSC) e revisado por Alberto Cupani (Depto. de Filosofia – UFSC). Caderno Catarinense de Ensino de Física. Florianópolis, v.8, n.3: 193-204, dez. 1991.

CUPANI, Alberto.; PIETROCOLA, Maurício. **A relevância da epistemologia de Mário Bunge para o ensino de ciências.** Caderno Catarinense de Ensino de Física. Vol. 19, número especial. p. 96-120. Mar. 2002.

CUSTÓDIO, José Francisco.; PIETROCOLA, Maurício. **Princípios físicos e a construção de modelos.** Atas eletrônicas do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2000. Disponível em:
http://www.nupic.fe.usp.br/Publicacoes/congressos/Jose_Francisco_Custodio_PRINCIPIOS_FISICOS_E_A_CONSTRUCAO_DE_MODELOS.pdf Acesso: Nov. 2010.

GALAGOVSKY, Lydia.; ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. **Modelos y analogias en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico.** Enseñanza de las ciencias, 2001, Vol. 19, n. 2, 231-242.
 Disponível em: <http://ensciencias.uab.es/index.php> Acesso: Dez. 2009

KAPRAZ, Sônia.; QUEIROZ, Glória.; COLINVAUX, Dominique.; CRESO, Franco. **Modelos: uma análise de sentidos na literatura de ensino de ciências.** Investigações em Ensino de Ciências. V2(3), pp. 185-205, 1997. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/>
 Acesso: Dez. 2010

LANGHI, R.; NARDI, R. **Erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 24, n.1: p. 87-111, abr. 2007.

LARCHER, Claudine. **Activites de modélisation au college.** Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques 1994 – 1995. ENS Cachan,1996, p. 21-40

MACHADO, Juliana.; VIEIRA, Karla S.; **Modelização no ensino de física: contribuições em uma perspectiva Bungeana.** XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – Curitiba –

2008. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xi/sys/resumos/T0223-1.pdf> Acesso: Nov. 2010.

MARTINAND, Jean-Louis. **Introduction à la modélisation**. Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques 1994 – 1995. ENS Cachan, 1996, p.7-20.

MATUI, Jiron. **Construtivismo. Teoria construtivista sócio-histórica aplicada ao ensino**. São Paulo: Moderna, 1995.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

PAIS, Luiz Carlos. **Transposição didática**. In: Educação Matemática: uma introdução. Silvia Dias Alcântara Machado *et al.*(Org.). São Paulo. EDUC, 1999.

PIETROCOLA, Maurício. **Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos**. Investigações em Ensino de Ciências. Vol. 4, N.3, Dez. 1999. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/> Acesso: Dez. 2010

PIETROCOLA, Maurício. **Construção e Realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo**. In: Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Maurício Pietrocola (Org.). Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

PINHEIRO, Terezinha F.; PIETROCOLA, Maurício.; ALVES-FILHO, José P. **Modelização de variáveis: uma maneira de caracterizar o papel estruturador da Matemática no conhecimento científico**. In: Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Maurício Pietrocola (Org.). Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

Capítulo 3 e 4

BARRABÍN, J. M. **¿Por qué hay veranos y inviernos? Representaciones de estudiantes (12-18) y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Sol-Tierra**. Enseñanza de las ciencias, v. 13, n. 2, p. 227-236, 1995.

BARRIO, Juan. B. M. **A Investigação Educativa em Astronomia: os planetários como espaço de ensino e aprendizagem**. In: Educação em astronomia: experiências e

contribuições para a prática pedagógica. Marcos (Org.) Daniel Longhini. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

BISCH, S. M. **Astronomia no 1º grau: Natureza e Conteúdo do Conhecimento de Estudantes e Professores.** (Tese de doutorado). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. 1998.

CANALLE, J. B. G.; **O sistema solar numa representação teatral.** Caderno Catarinense de Ensino de Física. 1994. Vol. 11. nº 1: p. 27-32, abr. 1994.

CHALMERS. Alan F. **O que é ciência afinal?** Tradução: Raul Filker. Editora Brasiliense, 1993.

COUTINHO, Ricardo Nespoli. **Televisão Universitária como Ambiente de Aprendizagem.** 2006. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estácio de Sá.

FRANCO, Creso. **As idéias dos alunos sobre temas científicos: vale apenas levá-las a sério?** Ciência & Ensino, Vol. 4, 1998.

LANGHI, R.; NARDI, R. **Erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 24, n.1: p. 87-111, abr. 2007.

LANGHI, R. **Idéias do Senso Comum em Astronomia.** VII Encontro Nacional de Astronomia (2004). Disponível em: <http://www.telescopiosnaescola.pro.br/langhi.pdf> Acesso: Abr. 2009.

LANGHI, R.; NARDI, R. **Ensino de astronomia no Brasil: educação formal, informal, não-formal e divulgação científica.** Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 31, n.4: p. 4402-1/ 4402-11, dez. 2009.

LEITE. C. **Os Professores de Ciências e suas Formas de Pensar a Astronomia.** (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. 2002

LIMA, Everaldo J. M.; TREVISAN, Rute H.; LATARRI, Cleiton J. B. **Concepções Espontâneas: Da Reflexão a Mudança Conceitual.** In: XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2005, Rio de Janeiro, 2005.

Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0615-1.pdf>

Acesso: Fev. 2011

LÜDKE, Menga.; ANDRÉ, Marli E. D. A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MORAES, Roque.; GALIAZZI, Maria C. **Análise textual discursiva**. Ijuí: Editora Unijuí, 2007.

MOREIRA, Marco Antônio. **Modelos Mentais**. Investigações em Ensino de Ciências. V1(3), pp.193-232, 1996, pp. 193 – 232. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci>. Acesso: Dez. 2009.

MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo**. Tradução de Eliane Lisboa. Porto Alegre: Sulina, 2005.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

OURIQUE, Pedro A.; GIOVANNINI, Odilon.; CATELLI, Francisco. **Fotografando estrelas com uma câmara digital**. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 32. n.1. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v32n1/a02v32n1.pdf> Acesso: Dez. 2010.

PAULA, A. S. P.; OLIVEIRA, H. J. Q. Análises e propostas para o ensino de Astronomia. 2002. Disponível em: <http://cdcc-gwy.cdcc.sc.usp.br/cda/erros-no-brasil/index.html> Acesso: Jun. 2010.

PINTO, S. P.; FONSECA, O. M.; VIANNA, D. M. **Formação continuada de professores: Estratégia para o ensino de Astronomia nas séries iniciais**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, n.1: p. 71-86, abr. 2007.

POZO, Juan Ignacio. **Aprendizes e Mestres: a nova cultura da aprendizagem**. Tradução: Ernani Rosa. Porto Alegre: Artmed Editora, 2002.

RICHARDSON, Roberto Jarry.; PERES, José Augusto de Souza. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 3.ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 1999.

SCARINCI, Anne L.; PACCA, Jesuína. L. A. **Um curso de Astronomia e as pré-concepções dos alunos**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v.28, n.1, 2006. p. 89-99.

SILVA, Fernando S.; CATELLI, Francisco; GIOVANNINI, Odilon. Um modelo para o movimento anual do sol a partir de uma perspectiva geocêntrica. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 27, n.1, p. 7-25, abr. 2010. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/1376> Acesso: Abr. 2010.

SOBREIRA, P. H. A. **Estações do Ano: concepções espontâneas, alternativas, modelos mentais e o problema da representação em livros didáticos de Geografia**. In: Educação em astronomia: experiências e contribuições para a prática pedagógica. Marcos Daniel Longhini (Org.). Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

SOARES, Eliana M. S.; VALENTINI, Carla B. (org.) **Aprendizagem em ambientes virtuais: compartilhando idéias e construindo cenários**. Caxias do Sul, RS. Educs, 2005.

SOARES, Eliana M. S. **Ambientes de Aprendizagem na Educação Superior: Docência, Tecnologia e Educação a Distância**. Texto inédito, Núcleo de Inovação e Desenvolvimento, UCS, 2008.

TEODORO, S.R. **A História da Ciência e as Concepções Alternativas como Subsídios para o Planejamento de um Curso sobre Atração Gravitacional**. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista. 2000.

VAN FRAASSEN, Bas C. **A imagem científica**. Tradução: Luiz Henrique de Araújo Dutra. São Paulo. Editora UNESP: Discurso Editorial, 2007.

VILLANI, Alberto. **Idéias Espontâneas e Ensino de Física**. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol. 11, dez. 1989.

ANEXO A: O QUESTIONÁRIO

Questionário de perguntas abertas

Nome:

Questões:

1) Você levanta bem cedo e ao olhar pela janela percebe que o sol está nascendo, justamente por trás de uma árvore distante. Nos outros dias do ano o Sol continua a nascer por trás desta mesma árvore? Comente sua resposta.

2) Neste mesmo dia você percebe que por volta das 10:00 horas da manhã os objetos que encontra neste cenário: as árvores, a sua casa, os postes de luz, etc. projetam sobre o solo uma sombra que se estende em uma determinada direção. Ao meio-dia a sombra projetada por esses mesmos objetos continua nesta direção? Mudam de direção? Somem? Comente sua resposta considerando a sua região.

3) A duração do dia claro (número de horas em que há luz do sol) muda ao longo do ano? Considere a região em que você mora. Comente sua resposta.

Dados adicionais:

4) Além das atividades normais da escola, você desenvolve mais alguma atividade? Qual? Esta atividade é a mesma desenvolvida por alguém de sua família?

(Pensamos que a atividade que você desenvolve e (ou) a atividade de sua família podem ter influência em seu conhecimento prévio sobre o Sol. Esta é a razão de colocarmos a pergunta aqui. É claro que a resposta a ela é opcional!)

ANEXO B: O TEXTO DO SABER

O homem em sua tentativa por desvendar os segredos do Universo:

Da observação da sombra solar em um gnômon à noção de esfera celeste*

Movido pelo desejo de compreender os seus mais inquietantes pensamentos, e também pela necessidade de explicar algo que lhe escapava à compreensão, o homem neolítico (aproximadamente 8000 a.C) começou a buscar maneiras de explicar a si mesmo e aos seus contemporâneos os acontecimentos e manifestações que faziam parte do cotidiano: o dia e a noite, o tempo, os deuses; toda a ordem universal passou então a ser investigada.

Embora os instrumentos para medições e pesquisas nessa época ficassem invariavelmente restritos às observações da sombra solar projetada por um gnômon[^] ou da própria observação das constelações, as poucas informações coletadas por meio de registros em tabelas foram sendo passadas de geração a geração. Foi dessa maneira que, com a sucessão dos dias e dos anos, o movimento aparente do Sol e a duração aproximada do dia claro (a expressão “dia claro” significa o intervalo de tempo que o Sol fica acima do horizonte) passaram a ser eventualmente melhor estimados.

Dentre os grandes centros de astronomia do mundo antigo ganhavam destaque aqueles mantidos pelos Babilônicos (600-500 a.C.), Egípcios, Chineses, Maias e Incas. Estes povos foram os pioneiros na construção de calendários baseados no movimento da Lua, do Sol e numa série de outros fenômenos como as revoluções sinódicas dos planetas, a periodicidade dos eclipses, entre outros (Herrmann, 1983). Entretanto, os Gregos (600 a.C. a 400 d.C.) foram os que mais se destacaram nessa época, contribuindo com conceitos e teorias que percorreram os tempos e que até hoje são observados; um exemplo disso é a esfera celeste (Oliveira Filho e Saraiva, 2000).

* O presente texto é, em parte, uma adaptação do artigo: “Um modelo para o movimento anual aparente do Sol a partir de uma perspectiva geocêntrica”, desenvolvido pelos professores Fernando Siqueira da Silva (UCS), Francisco Catelli (UCS) e Odilon Giovannini (UCS) publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, na primeira edição de 2010.

[^] Um gnômon é uma espécie de estaca vertical fincada ao solo que durante o dia projeta a sombra solar. Segundo Smole & Diniz (2005), foi relacionando o comprimento dessa sombra com o comprimento do gnômon que o homem primitivo construiu as primeiras tabelas para a duração do dia.

Os gregos, ao fazerem suas observações do céu, imaginavam estarem envolvidos por uma imensa esfera contendo em sua superfície uma grande quantidade de estrelas e constelações, e em seu centro, a Terra. Hoje, a descrição do movimento aparente dos astros é associada ao movimento de rotação da Terra.

“Com o passar das horas, os astros se movem no céu, nascendo a leste e se pondo a oeste. Isso causa a impressão de que a esfera celeste está girando de leste para oeste, em torno de um eixo imaginário, que intercepta a esfera em dois pontos fixos, os pólos celestes. Na verdade, esse movimento, chamado movimento diurno dos astros, é um reflexo do movimento de rotação da Terra, que se faz de oeste para leste. O eixo de rotação da esfera celeste é o prolongamento do eixo de rotação da Terra, e os pólos celestes são as projeções, no céu, dos pólos terrestres”. (OLIVEIRA FILHO & SARAIVA, 2000, p.9).

É importante percebermos que, embora a esfera celeste esteja na atualidade presente apenas no mundo das ideias, trouxe-nos a oportunidade de compreendermos um pouco melhor o movimento aparente dos astros no céu. É partindo dessa concepção mais primitiva que a astronomia moderna passa a desenvolver modelos que permitem encontrar a posição de um astro na esfera celeste em qualquer tempo, a partir de suas coordenadas astronômicas.

A representação do céu numa esfera é fundamental para compreender a proposta deste trabalho. Como a Terra, nesta representação, está no centro da esfera celeste, é importante definir os movimentos aparentes do Sol percebidos por um observador terrestre. Devido ao movimento de rotação da Terra, do oeste para o leste, o Sol descreve um movimento aparente diário do leste para o oeste que é percebido em qualquer lugar do planeta. Já o movimento de translação da Terra ao redor do Sol, associado à inclinação do eixo de rotação da Terra, resulta num movimento aparente anual do Sol que está relacionado às estações do ano.

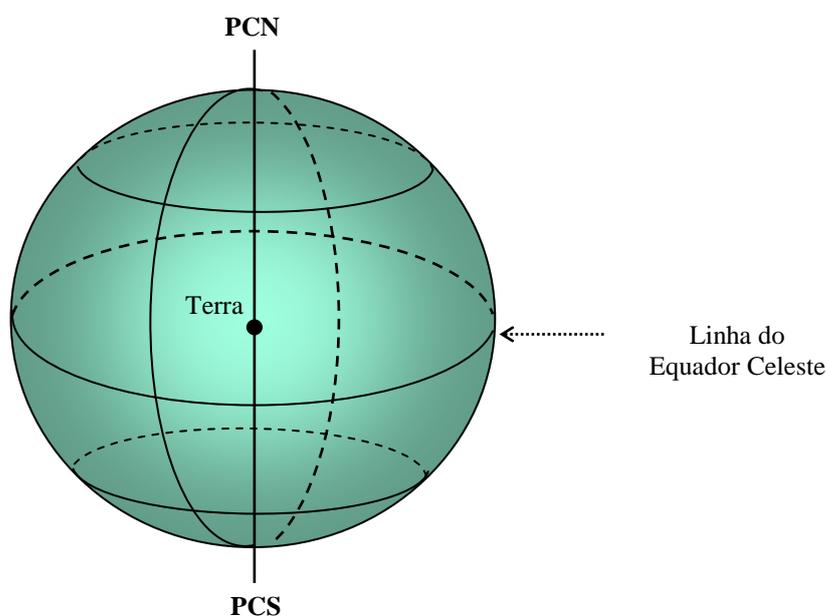
Mas, dirá o leitor, a quem interessaria hoje compreender o movimento aparente do Sol (MAS)? Aos agricultores que, no cultivo de uma determinada espécie de planta devem levar em consideração uma série de fatores como o solo, a vegetação e principalmente o clima da região? Aos arquitetos que, ao construírem uma casa ou edifício, procuram a iluminação solar mais adequada para sua obra, e para isso devem levar em consideração o movimento aparente do Sol ao longo do ano? Aos engenheiros, que na intenção de construírem coletores de energia solar cada vez mais eficientes precisam saber qual o ângulo ótimo de incidência da radiação solar ao longo do dia e em diferentes épocas do ano? Aos astrônomos? Aos

meteorologistas? Aos estudantes e professores dos mais diversos níveis? A uma legião de curiosos? A todos aqueles que desejam utilizar a luz solar como fonte de energia não poluente? A resposta parece óbvia: a todos, os que foram referidos acima, e eventualmente a muitos outros.

O leitor poderia colocar-se uma segunda questão, desta vez no sentido inverso. Seriam necessários anos de estudos e um longo tempo de observação para prever o movimento aparente do Sol? Diríamos que não! Precisamos apenas compreender a relação do movimento relativo entre a esfera celeste e o planeta Terra, alguns conceitos de geografia como a latitude e um modelo que nos permita verificar o movimento aparente do Sol em diferentes regiões.

Como podemos ver na figura 1, e dentro da perspectiva geocêntrica descrita acima, o planeta Terra está localizado bem ao centro da esfera celeste. O plano imaginário que divide a Terra em dois hemisférios ao longo da linha do equador estende-se infinitamente, “cortando” a esfera celeste em um círculo máximo, é a linha do equador celeste. Notemos ainda que o prolongamento do eixo de rotação imaginário da Terra cruza a esfera celeste em dois pontos, PCN e PCS, que são os chamados polo celeste norte e polo celeste sul.

É importante enfatizar que na representação da figura 1 uma pessoa em qualquer localidade da Terra encontrar-se-á no centro da esfera celeste, em um plano tangente à superfície da Terra naquele local, definido como “horizonte do observador”*.



* Horizonte: é o plano tangente à Terra e perpendicular à vertical do lugar em que se encontra o observador. A vertical do lugar é definida por um fio a prumo. Considera-se que o plano do horizonte intercepta a esfera celeste em um círculo máximo. (Oliveira Filho e Saraiva, 2000. p.10)

Figura 1 - Representação da esfera celeste. Ao centro da esfera celeste, a Terra é representada por um ponto. E a projeção da linha do equador da Terra na esfera celeste é a linha do equador celeste. Nos dois pontos opostos extremos da esfera, o prolongamento do eixo imaginário de rotação da Terra materializa os polos celestes norte (PCN) e sul (PCS).

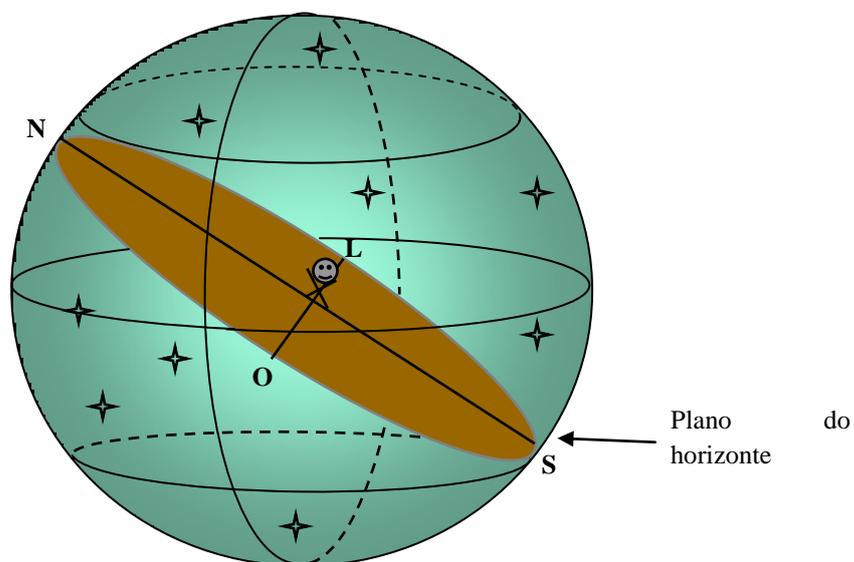


Figura 2 - Representação da esfera celeste e do plano do horizonte para um observador localizado em uma determinada região do planeta Terra. As estrelas são representações apenas ilustrativas e arbitrárias, indicam posições arbitrárias de estrelas no céu e, não estão incrustadas na esfera celeste. A representação está fora de escala.

ANEXO C: TABELAS DA USNO

Tabelas para a duração do dia em Caxias do Sul e Macapá (ano: 2010)

Daylight or Darkness Duration Table for One Year Página 1 de 2

CAXIAS DO SUL - RS

Location: W051 10, S29 10 Zone: 3h East of Greenwich Astronomical Applications Dept.
U. S. Naval Observatory
Washington, DC 20392-5420

Duration of Daylight for 2010

Day	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m
01	13:58	13:27	12:42	11:48	10:58	10:24	10:18	10:45	11:30	12:22	13:14	13:51
02	13:58	13:26	12:41	11:46	10:57	10:23	10:19	10:46	11:32	12:23	13:15	13:52
03	13:57	13:25	12:39	11:44	10:55	10:22	10:19	10:47	11:34	12:25	13:17	13:53
04	13:57	13:23	12:37	11:43	10:54	10:22	10:20	10:49	11:35	12:27	13:18	13:54
05	13:56	13:22	12:35	11:41	10:53	10:21	10:20	10:50	11:37	12:29	13:20	13:54
06	13:55	13:20	12:34	11:39	10:51	10:21	10:21	10:51	11:39	12:30	13:21	13:55
07	13:55	13:19	12:32	11:37	10:50	10:20	10:21	10:53	11:40	12:32	13:23	13:56
08	13:54	13:17	12:30	11:36	10:49	10:20	10:22	10:54	11:42	12:34	13:24	13:56
09	13:53	13:15	12:28	11:34	10:47	10:19	10:23	10:55	11:44	12:36	13:26	13:57
10	13:52	13:14	12:26	11:32	10:46	10:19	10:23	10:57	11:45	12:37	13:27	13:57
11	13:52	13:12	12:25	11:31	10:45	10:18	10:24	10:58	11:47	12:39	13:29	13:58
12	13:51	13:11	12:23	11:29	10:43	10:18	10:25	11:00	11:49	12:41	13:30	13:58
13	13:50	13:09	12:21	11:27	10:42	10:18	10:25	11:01	11:51	12:42	13:31	13:59
14	13:49	13:08	12:19	11:26	10:41	10:17	10:26	11:02	11:52	12:44	13:33	13:59
15	13:48	13:06	12:18	11:24	10:40	10:17	10:27	11:03	11:54	12:46	13:34	13:59
16	13:47	13:04	12:16	11:22	10:39	10:17	10:28	11:05	11:56	12:48	13:35	14:00
17	13:46	13:03	12:14	11:21	10:38	10:17	10:29	11:06	11:57	12:49	13:36	14:00
18	13:45	13:01	12:12	11:19	10:36	10:17	10:30	11:08	11:59	12:51	13:38	14:00
19	13:44	12:59	12:11	11:18	10:35	10:17	10:30	11:10	12:01	12:53	13:39	14:00
20	13:43	12:58	12:09	11:16	10:34	10:17	10:31	11:11	12:03	12:54	13:40	14:00
21	13:42	12:56	12:07	11:14	10:33	10:17	10:32	11:13	12:04	12:56	13:41	14:00
22	13:40	12:54	12:05	11:12	10:32	10:17	10:33	11:14	12:06	12:58	13:42	14:00
23	13:39	12:53	12:04	11:10	10:31	10:17	10:34	11:16	12:08	12:59	13:44	14:00
24	13:38	12:51	12:02	11:09	10:30	10:17	10:36	11:17	12:10	13:01	13:45	14:00
25	13:37	12:49	12:00	11:07	10:29	10:17	10:37	11:19	12:11	13:03	13:46	14:00
26	13:36	12:47	11:58	11:06	10:28	10:17	10:38	11:21	12:13	13:04	13:47	14:00
27	13:34	12:46	11:56	11:04	10:28	10:17	10:39	11:22	12:15	13:06	13:48	14:00
28	13:33	12:44	11:55	11:03	10:27	10:18	10:40	11:24	12:16	13:07	13:49	14:00
29	13:32		11:53	11:01	10:26	10:18	10:41	11:25	12:18	13:09	13:50	13:59
30	13:30		11:51	11:00	10:25	10:18	10:42	11:27	12:20	13:11	13:50	13:59
31	13:29		11:50		10:24		10:44	11:29		13:12		13:59

[Back to Form](#)

http://aa.usno.navy.mil/cgi-bin/aa_durtablew.pl 21/3/2010

Daylight or Darkness Duration Table for One Year Página 1 de 2

MACAPA - AP

Location: W051 03, N00 02 Zone: 3h East of Greenwich Astronomical Applications Dept.
U. S. Naval Observatory
Washington, DC 20392-5420

Duration of Daylight for 2010

Day	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m
01	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
02	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
03	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
04	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
05	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
06	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
08	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
09	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
10	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
11	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
12	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
13	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
14	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
15	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
16	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
17	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
18	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
19	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
20	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
21	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
22	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
23	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
24	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
25	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
26	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
27	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
28	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
29	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
30	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07
31	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07	12:07

[Back to Form](#)

http://aa.usno.navy.mil/cgi-bin/aa_durtablew.pl 21/3/2010

ANEXO D: A ENTREVISTA

Perguntas da entrevista semi-estruturada

Nome:

- 1) (Além das três questões feitas originalmente): há alguma dúvida ou questão que você não conseguia dar conta, e que agora você consegue responder sobre este assunto? Qual?
- 2) Digamos que você esteja interessado em obter a maior incidência dos raios solares na parte da frente de sua casa, sob qual direção ela deveria ser construída?
- 3) O que você teria a dizer sobre o nascimento do Sol durante o ano? Você chegou a aprender algo novo?
- 4) Em que época do ano, próximo ao meio dia, a sombra produzida pelo Sol nos objetos é mais curta? O que isso significa?
- 5) Você saberia dizer em que época do ano, em sua região, o Sol fica a maior parte do tempo acima do horizonte?
- 6) O que mais lhe chamou a atenção nas atividades?

ANEXO E: ANALOGIAS SUBSTANCIAIS E ANALOGIAS FORMAIS

Uma forma interessante e inteligível de entendermos o que são analogias substanciais e analogias formais e como elas estão presentes nos modelos, encontra-se em algumas das considerações de Bunge (1974, p. 185-189) das quais nos valeremos aqui, inteiramente, para apresentar alguns aspectos. Ter uma familiaridade com as propriedades básicas da teoria dos conjuntos é pertinente para entendermos o seu quadro explicativo.

Imaginamos primeiramente um conjunto dos inteiros O , onde podemos encontrar objetos concretos e objetos conceituais. Contidos nesse conjunto de objetos se encontram três outros conjuntos: N , A e C , mutuamente disjuntos, isto é, a intersecção entre eles é vazia. Onde:

“ N = Conjunto de objetos naturais ou sociais (e.g. elétrons e sociedade de filósofos);

A = Conjunto de artefatos concretos (e. g. dentaduras e autômatos);

C = Conjunto de objetos conceituais (e.g. conceitos e teorias);”

Então, considerando um conjunto universo O – conjunto de objetos concretos e objetos conceituais – e seus subconjuntos N , C e A , com seus elementos x e y que supostamente podemos relacionar. Estabelecem-se alguns critérios (a) e (b) que caracterizam se tais elementos podem ser considerados como substancialmente análogos ou formalmente análogos entre si. Segundo o filósofo da ciência Mario Bunge, um elemento qualquer x é análogo a outro elemento qualquer y , dentro do conjunto universo O , se as seguintes condições forem satisfeitas:

(a) x e y partilham de várias propriedades objetivas (são iguais em alguns aspectos) ou;

(b) existe uma correspondência entre as partes de x ou propriedades de x e as de y .

Se tais elementos (x e y) satisfazem a condição (a) são considerados substancialmente análogos; se satisfazem a condição (b) são formalmente análogos. Eles (os elementos) são ditos substancialmente análogos quando se podem estabelecer relações de semelhanças entre suas estruturas, formas. Um exemplo é a relação entre *dois átomos quaisquer*; outro exemplo mais lúdico, a relação entre uma concha e um vaso; formalmente análogos: podemos estabelecer relações de semelhança entre suas funções, *independente de suas formas*. Um exemplo, *a migração do íon é formalmente análoga à migração humana*, outro exemplo, o

funcionamento do computador é análogo ao funcionamento do cérebro. Se ambas as condições (a) e (b) forem satisfeitas teremos homólogos: uma analogia substancial e formal ao mesmo tempo, tal como a, a relação entre o *homem e o robô*.

Bunge justifica o seu esquema explicativo (utilizando-se da teoria dos conjuntos) para fazer referência às analogias formais, apenas por permitirem uma melhor análise desse tipo de analogias, já que elas não se restringem apenas aos objetos matemáticos. Dentro das analogias formais existiriam ainda diferentes graus de analogia que se enquadrariam em (b). Entre elas a *analogia formal simples* (ou *algum - algum*), a *analogia injetiva* ou *homomórfica* (ou *todo - algum*) e a *analogia bijetiva* ou *isomórfica* (ou *todo - todo*).