

**SANDRA REGINA TEODORO**

**A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E AS CONCEPÇÕES  
ALTERNATIVAS DE ESTUDANTES COMO SUBSÍDIOS  
PARA O PLANEJAMENTO DE UM CURSO SOBRE  
ATRAÇÃO GRAVITACIONAL.**

**SANDRA REGINA TEODORO**

**A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E AS CONCEPÇÕES  
ALTERNATIVAS DE ESTUDANTES COMO SUBSÍDIOS  
PARA O PLANEJAMENTO DE UM CURSO SOBRE  
ATRAÇÃO GRAVITACIONAL.**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da UNESP - Câmpus de Bauru, como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência - Área de Concentração: Ensino de Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Nardi

**BAURU**

**2000**

**SANDRA REGINA TEODORO**

**A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E AS CONCEPÇÕES  
ALTERNATIVAS DE ESTUDANTES COMO SUBSÍDIOS  
PARA O PLANEJAMENTO DE UM CURSO SOBRE  
ATRAÇÃO GRAVITACIONAL.**

**BANCA JULGADORA**

**DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE**

*Presidente e Orientador:* Prof. Dr. Roberto Nardi (UNESP/FC)

*2º Examinador:* Prof. Dr. Dirceu da Silva (FE/UNICAMP)

*3º Examinador:* Prof. Dra. Aparecida Valquíria Pereira da Silva (UNESP/FC)

Bauru, 16 de março de 2000.

## **DADOS CURRICULARES**

**SANDRA REGINA TEODORO**

**NASCIMENTO:** 04/02/1974 - BAURU – SP

**FILIAÇÃO:** Aristeu Teodoro

Maria Luzia Vanzeli Teodoro

1992/1995 Curso de Graduação - Licenciatura em Física

Faculdade de Ciências - UNESP - Câmpus de Bauru.

1996/1997 Professora de Física do ensino médio na

E. E. P. S. G. Dr. Luiz Zuiani - Bauru.

1997/2000 Curso de Pós-Graduação em Educação para a Ciência - Área

de Concentração: Ensino de Ciências, nível de mestrado, na

Faculdade de Ciências – UNESP – Bauru.

Ao meu querido avô *Antônio Vanzeli* (em memória)

Pelos exemplos de amor, bondade e dignidade  
que jamais poderei esquecer.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao *Prof. Dr. Roberto Nardi* - responsável por despertar o meu interesse pelo Ensino de Ciências em suas aulas de Prática de Ensino de Física - pelo período de convivência frutífera, pelas discussões, pela atenção e leitura incansável deste trabalho e, principalmente pela amizade.

Aos professores *Dr. Dirceu da Silva e Dra. Aparecida Valquíria Pereira da Silva* pelas importantes observações e sugestões que possibilitaram novas reflexões.

Aos membros do Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências, aos professores das disciplinas que cursei e aos colegas do Programa de Pós-graduação pelas valiosas discussões

Ao *Prof. Dr. João José Caluzi*, pelas sugestões.

À Secretaria de Pós-Graduação da FC nas pessoas da *Carla e Ana*, pela competência e simpatia na assessoria burocrática.

Aos meus pais *Aristeu e Maria Luzia*, que desde cedo me ensinaram a valorizar os estudos e que com amor e dedicação edificaram um porto seguro que me possibilitou fazer escolhas.

Ao meu noivo *Fábio*, pelo amor, compreensão e pelas tentativas de revelar o lado mais suave das coisas.

À minha irmã *Silvia* pelo apoio, pelas sugestões e por ter proporcionado à nossa família uma alegria única em 1999: meu sobrinho *Alexandre*.

Ao meu irmão *Sérgio*, pela compreensão, carinho e volume mais baixo no aparelho de som.

Ao meu amigo *Éder*, presença constante em todos os momentos.

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

À **FAPESP** pelo auxílio financeiro.

[...] a física moderna tem seu prólogo e seu epílogo nos céus ou, mais precisamente, o fato de que a física moderna possui suas origens no estudo dos problemas astronômicos e mantém esse vínculo através de toda a sua história, tem um sentido profundo e acarreta importantes conseqüências. Implica, notadamente, o abandono da concepção clássica e medieval do Cosmo – unidade fechada de um Todo, Todo qualitativamente determinado e hierarquicamente ordenado, no qual diferentes partes que o compõem a saber, o Céu e a Terra, estão sujeitos a leis diversas – e sua substituição pela do Universo, isto é, de um conjunto aberto e indefinidamente extenso do Ser, unido pela identidade das leis fundamentais que o governam; determina a fusão da *física celeste* com a *física terrestre* [...].

Alexandre Koyré



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE QUADROS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	14
RESUMO.....	15
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2. AS PESQUISAS SOBRE “CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS” E O ESTUDO DO CONCEITO DE GRAVIDADE.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b> Alguns padrões de noções mais comuns.....	41
<b>2.2</b> Exemplos de concepções de docentes em exercício.....	42
<b>A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS</b>	
<b>3.1</b> Introdução.....	48
<b>3.2</b> Algumas críticas à utilização da História da Ciência no ensino de ciências.....	50
<b>3.3</b> Por que inserir a História da Ciência no ensino? .....	54
<b>A EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE MUNDO E O CONCEITO DE ATRAÇÃO GRAVITACIONAL ATRAVÉS DA HISTÓRIA.</b>	
<b>4.1</b> Introdução.....	61
<b>4.2</b> Alguns exemplos das primeiras tentativas de descrição do mundo.....	64
<b>4.3</b> Algumas características da civilização grega e o nascimento da ciência..	66
<b>4.4</b> O universo aristotélico.....	69
<b>4.5</b> Aristóteles e o movimento.....	72
<b>4.6</b> O modelo de mundo de Ptolomeu.....	76
<b>4.7</b> Algumas considerações sobre a física na Idade Média.....	81
<b>4.8</b> O heliocentrismo de Copérnico.....	85
<b>4.9</b> Problemas resolvidos pelo heliocentrismo.....	90
<b>4.10</b> A articulação do novo paradigma: o início de um longo caminho.....	95
<b>4.11</b> As elipses de Kepler.....	99
<b>4.12</b> As leis do movimento planetário.....	102
<b>4.13</b> Galileu e o sistema copernicano.....	107
<b>4.14</b> Algumas considerações sobre a física de Galileu.....	111

4.15	Os vórtices de Descartes.....	120
4.16	A síntese newtoniana.....	122
4.17	As leis do movimento.....	128
4.18	A formulação de Newton e as leis de Kepler.....	129
4.19	Newton e a atração universal.....	131
4.20	O problema da distância.....	135
4.21	A natureza da gravidade.....	137
4.22	Campo gravitacional.....	140
5	ALGUNS ASPECTOS DA EVOLUÇÃO DAS DISCUSSÕES SOBRE OS MODELOS DE MUDANÇA CONCEITUAL.....	143
6	A PESQUISA.....	163
7	O CURSO PROPOSTO	
7.1	Introdução.....	169
	Atividade 1.....	176
	Atividade 2.....	185
	Atividade 3.....	192
	Atividade 4.....	195
	Atividade 5.....	201
	Atividade 6.....	205
	Atividade 7.....	208
	Atividade 8.....	213
	Atividade 9.....	216
	Atividade 10.....	220
	Atividade 11.....	228
	Atividade 12.....	239
	Atividade 13.....	245
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	249
9	BIBLIOGRAFIA.....	258
	ANEXOS.....	265
	ABSTRACT.....	277

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1:</b> O que devem saber e saber fazer os professores de ciências.....	20
<b>FIGURA 2.1:</b> Características dos conhecimentos prévios.....	24
<b>FIGURA 2.2:</b> Porcentagens de estudos sobre concepções dos estudantes em Biologia, Química e Física.....	26
<b>FIGURA 2.3:</b> Várias noções de Terra apresentadas por crianças israelenses.....	27/183
<b>FIGURA 2.4:</b> A evolução das concepções de crianças sobre o tópico “ A Terra no espaço e campo gravitacional”.....	27/183
<b>FIGURA 2.5:</b> Concepção alternativa sobre o “limite” de atuação para a força atrativa.....	29/242
<b>FIGURA 2.6:</b> Explicações das crianças com relação ao suporte.....	36
<b>FIGURA 2.7:</b> Representação da concepção espontânea expressada pela maioria dos estudantes entrevistados: força resultante atuando em um corpo lançado verticalmente para cima.....	39/190
<b>FIGURA 2.8:</b> A força sobre uma ferramenta abandonada pelo homem na Lua..	39
<b>FIGURA 4.1 :</b> Concepção chinesa de mundo: Terra inclinada justificaria o fato de os rios correrem em uma determinada direção. O céu é representado por um grande manto.....	65/179
<b>FIGURA 4.2:</b> A Terra para os hindus constituía-se de um enorme disco plano, em cujo centro estava o Monte Meru, ao redor do qual giravam o Sol, a Lua e as estrelas.....	65/179
<b>FIGURA 4.3:</b> Outra concepção hindu: Terra plana sustentada por colunas..	65/180
<b>FIGURA 4.4:</b> Concepção dos fenícios de Terra curva: em suas experiências de navegação perceberam que os cumes dos montes mais elevados eram a primeira	

coisa a ser avistada como que “emergindo” da água, o que não deveria acontecer no caso de Terra plana.....	66/180
<b>FIGURA 4.5:</b> Modelo ilustrativo do sistema geocêntrico de Aristóteles.....	71
<b>FIGURA 4.6:</b> Interpretação aristotélica do movimento de um projétil quando abandona o lançador.....	75
<b>FIGURA 4.7:</b> O sistema epiciclo-deferente.....	77
<b>FIGURA 4.8:</b> Sistemas homocêntrico (a) e excêntrico (b).....	78
<b>FIGURA 4.9:</b> Diagrama ilustrativo do movimento planetário baseado no sistema Ptolomaico.....	79
<b>FIGURA 4.10:</b> O universo copernicano.....	90
<b>FIGURA 4.11:</b> No sistema de Copérnico, o movimento retrógrado aparente dos planetas tem uma explicação simples: é uma questão de velocidades relativas. Aqui as linhas de visada mostram porque um planeta superior, mais afastado do Sol do que a Terra, parece inverter o sentido do seu movimento. Ele viaja ao redor do Sol mais lentamente que a Terra.....	91
<b>FIGURA 4.12:</b> O movimento retrógrado de um planeta inferior, cuja órbita se acha entre a Terra e o Sol, é também prontamente explicado com as linhas de visada. Vênus viaja ao redor do Sol mais rapidamente que a Terra.....	92
<b>FIGURA 4.13:</b> Paralaxe anual de uma estrela.....	94
<b>FIGURA 4.14:</b> O universo de Thomas Digges.....	97
<b>FIGURA 4.15:</b> O universo de Tycho Brahe.....	98
<b>FIGURA 4.16:</b> O modelo de Kepler para explicar as distâncias relativas dos planetas ao Sol no sistema copernicano.....	100
<b>FIGURA 4.17:</b> (a) Esquema geral de uma elipse. (b) Conseqüência do valor da excentricidade para o formato da elipse.....	102
<b>FIGURA 4.18:</b> Representação de uma órbita elíptica.....	103

<i>FIGURA 4.19:</i> Para um mesmo intervalo de tempo, os valores das áreas $A_1$ e $A_2$ , seriam iguais.....	103
<i>FIGURA 4.20:</i> Representação geométrica dos movimentos com velocidade constante (retângulo) e aceleração constante (triângulo retângulo).....	115
<i>FIGURA 4.21:</i> Plano inclinado do início do século XIX usado para confirmar a lei de queda dos corpos formulada por Galileu.....	116
<i>FIGURA 4.22:</i> Modelo gravitacional de Descartes, evidenciando os vórtices de matéria que permeiam todo o espaço.....	121
<i>FIGURA 4.23:</i> A suposição de Hooke para o movimento curvilíneo implicava na composição de movimentos.....	124
<i>FIGURA 4.24:</i> A segunda lei de Kepler é válida mesmo para um corpo que se move com velocidade uniforme ao longo de uma reta.....	129
<i>FIGURA 4.25:</i> A lei das áreas de Kepler é válida mesmo quando há uma força impulsiva em direção ao centro.....	130
<i>FIGURA 4.26:</i> Um corpo de massa $m_p$ movimenta-se circularmente em torno de um centro de força atrativo de massa $m_s$ .....	131
<i>FIGURA 5.1:</i> Analogias entre as Escolas Construtivistas e a Aprendizagem de Ciências.....	145
<i>FIGURA 7.1:</i> Seqüência proposta para o desenvolvimento do curso.....	175
<i>FIGURA 7.2:</i> Seqüência de desenhos que mostram a evolução da concepção do planeta Terra, segundo os sujeitos da amostra pesquisada.....	183
<i>FIGURA 7.3:</i> Questões utilizadas para investigar concepções que relacionam força e movimento.....	199
<i>FIGURA 7.4:</i> Características do movimento de um corpo considerando o movimento da Terra.....	235
<i>FIGURA 7.5 :</i> “Voltará a cair?” Esta velha gravura em madeira, extraída da correspondência de René Descartes, ilustra uma experiência proposta pelo Padre	

Mersenne, contemporâneo e amigo de Galileu, para verificar o comportamento dos corpos que caem.....	237
<b>FIGURA 7.6</b> : A gravitação x a queda da maçã.....	247

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 2.1</b> : Número de estudos sobre concepções de estudantes em diferentes áreas da Ciência.....	25
<b>QUADRO 3.1</b> : Concepções errôneas sobre o trabalho científico.....	55/56
<b>QUADRO 4.1</b> : Os períodos da civilização grega.....	67
<b>QUADRO 5.1</b> : Designações atribuídas aos modelos de aprendizagem conceitual: sua correspondência.....	148
<b>QUADRO 5.2</b> : Fatores contextuais de sala de aula, motivacionais e cognitivos relacionados ao processo de mudança conceitual.....	155
<b>QUADRO 5.3</b> : Campos de informação.....	158
<b>QUADRO 5.4</b> : Cinco passos em uma conversação avaliativa.....	160
<b>QUADRO 5.5</b> : Contraste entre a visão tradicional de ensino e a proposta de portfólio cultural.....	161
<b>QUADRO 6.1</b> : Estrutura das atividades baseada nos três campos orientadores..	165
<b>QUADRO 6.2</b> : Planejamento das atividades a partir dos três campos orientadores e da seqüência instrucional propostos por Duschl (1995).....	168
<b>QUADRO 7.1</b> : Planejamento da atividade 1.....	177
<b>QUADRO 7.2</b> : Planejamento da atividade 2.....	186

<b>QUADRO 7.3:</b> Planejamento da atividade 3.....	193
<b>QUADRO 7.4:</b> Planejamento da atividade 4.....	196
<b>QUADRO 7.5:</b> Planejamento da atividade 5.....	202
<b>QUADRO 7.6:</b> Planejamento da atividade 6.....	206
<b>QUADRO 7.7:</b> Planejamento da atividade 7.....	209
<b>QUADRO 7.8:</b> Planejamento da atividade 8.....	214
<b>QUADRO 7.9:</b> Planejamento da atividade 9.....	217
<b>QUADRO 7.10:</b> Planejamento da atividade 10.....	221
<b>QUADRO 7.11:</b> Planejamento da atividade 11.....	229
<b>QUADRO 7.12:</b> Planejamento da atividade 12.....	240
<b>QUADRO 7.13:</b> Planejamento da atividade 13.....	246

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 2.1 .</b> Frequência de distribuição dos esquemas.....	34
<b>TABELA 2.2:</b> Análise das concepções obtidas em diversos estudos sobre a queda dos corpos na superfície da Lua.....	40
<b>TABELA 2.3:</b> Categorias das respostas dos docentes da amostra.....	43
<b>TABELA 2.4:</b> Categorias das respostas dos docentes da amostra.....	44
<b>TABELA 2.5:</b> Categorias das respostas dos docentes da amostra.....	45
<b>TABELA 2.6:</b> Categorias das respostas dos docentes da amostra.....	46
<b>TABELA 2.7:</b> Categorias das respostas dos docentes da amostra.....	47

TEODORO, S. R. *A História da Ciência e as concepções alternativas de estudantes como subsídios para o planejamento de um curso sobre atração gravitacional*. Bauru, 2000. 280 p. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Câmpus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi estudar como a evolução histórica dos modelos de atração entre corpos, tendo como pano de fundo a evolução dos modelos de mundo, pode auxiliar na formação continuada do docente de Física. Para tanto, sugerimos um planejamento de curso sobre o tema atração gravitacional, destinado principalmente a docentes de Física que atuam no ensino médio. O planejamento do Curso foi baseado: em dados sobre a evolução dos modelos de mundo, buscando evidenciar como o conceito de atração gravitacional desenvolveu-se historicamente; nas concepções alternativas mais comuns encontradas na literatura, incluindo um breve esboço de noções diagnosticadas em uma amostra de docentes de Física de ensino médio; e em sugestões de leituras de resultados de pesquisas recentes sobre os processos de ensino e aprendizagem de ciências. Pretende-se fornecer aos docentes elementos de reflexão que lhes proporcionem mudanças de postura, através do questionamento da visão de ciência enquanto processo de construção e sobre sua própria prática de ensino. Partindo de resultados recentes da pesquisa em Ensino de Ciências, a metodologia sugerida privilegia o trabalho coletivo, com a realização de debates e sínteses. As atividades mencionadas são acompanhadas de justificativas sobre a escolha do tema e objetivos.

Palavras-chave: História da Ciência, atração gravitacional, concepções alternativas, ensino de Física, formação continuada de docentes.



# 1

## INTRODUÇÃO

Foi em 1995 o meu primeiro contato com a pesquisa em ensino de ciências. Aluna do curso de Licenciatura em Física desde 1992, não havia tido até então oportunidade para discutir seriamente questões tão imprescindíveis para a carreira que eu pretendia abraçar, já que disciplinas como Didática, Psicologia e Prática de Ensino são geralmente inseridas nos últimos semestres dos currículos de graduação. Estava tão envolvida buscando aprender que não procurei questionar o que isso realmente significava.

O que mais me perturbou foram os resultados de pesquisas que revelavam a existência e os conteúdos das “concepções alternativas” de estudantes de várias faixas etárias (inclusive universitários) e até de professores, abrangendo diversas áreas do conhecimento. Naquele momento, prestes a concluir a graduação, descobri que mesmo desconhecendo a existência de tais noções, minha mente estava impregnada delas no que diz respeito aos processos de ensino e aprendizagem. Como encarar o processo educativo a partir disso? O que significa realmente ensinar e aprender? Como ensinar conceitos científicos de forma que os alunos aprendam? O que nos garante que após anos de ensino formal nossa primeira resposta a um dado problema será baseada em explicações

cientificamente aceitas? Seremos capazes de modificar nossas concepções espontâneas? Quais são os papéis do aluno e do professor nesse processo?

Com todas essas dúvidas incômodas, decidi trabalhar com o tema atração gravitacional, uma vez que, a todo momento os meios de comunicação trazem reportagens sobre missões espaciais, satélites artificiais, com imagens de astronautas e naves que “flutuam no espaço”. A linguagem cotidiana é muitas vezes responsável pela disseminação de explicações não científicas (Solomon, 1983).

Ao mesmo tempo, a prática de ensino formal de Física em todos os níveis geralmente privilegia a memorização de fórmulas e técnicas de resolução de problemas. Villani (1984) afirma que este tipo de ensino considera

[...] a mente dos alunos como uma “tabula rasa” (em Física) que deve ser preenchida; aprender é “gravar” nesta tábula, “olhando” atentamente para o professor, se exercitando nos exercícios propostos, e sobretudo realizando avaliações que definem o essencial a ser aprendido. Ensinar é fornecer, mediante uma exposição clara e ordenada, o conteúdo a ser gravado: um “pacote” amarrado de fórmulas com alguns exercícios nos quais elas funcionam. Neste processo quem é fundamental e quem o dirige é o docente, o único que está perto do saber a ser aprendido. Por suas características a transmissão do conhecimento científico na escola é marcada por um progressivo “peneiramento” e afastamento do conteúdo produzido pelos pesquisadores, cuja atividade é totalmente diferente da docência e justifica a existência de uma comunidade com valores diferentes e às vezes conflitantes” (Villani, 1984, p.81-2).

Nesta perspectiva não há espaço para a discussão de conceitos que fazem parte de nossa experiência diária, como por exemplo, explicar o que mantém a órbita de um corpo, porque os astronautas parecem “flutuar” no interior de suas naves, como ocorre a queda de corpos de massas diferentes, qual a trajetória descrita por um corpo admitindo o movimento de rotação da Terra e discutir as relações entre os movimentos celestes e terrestres.

Na sua falta de habilidade ao tratar das questões do movimento em relação a uma Terra que se move, o homem médio está na mesma posição de alguns dos maiores cientistas do passado, o que lhe pode ser fonte de grande conforto; contudo, a maior diferença é que para o cientista do passado a incapacidade para resolver estas questões era um sinal do seu tempo, ao passo que para o homem moderno tal incapacidade é um distintivo de ignorância (Cohen, 1967, p.2).

Por outro lado, a visão linear e muitas vezes alienada da produção do conhecimento que permeia esse tipo de ensino, reforça a idéia de que ciência é para poucos gênios privilegiados que acertam sempre. Nem de longe contempla o aspecto da construção, os erros, as concepções superadas, e a própria noção de modelos. É a história dos “gênios” vencedores.

Sem uma compreensão do mundo que nos cerca, a partir de argumentos científicos, continuaremos vivendo em um “mundo mágico” (Manacorda, 1986, p. 61).

Assim, a formação do professor constitui a base para uma reformulação dos processos de ensino e aprendizagem.

Inicialmente nossa proposta era subsidiar a ação docente, fornecendo elementos para a construção de atividades de ensino sobre o conceito de atração gravitacional para alunos do ensino médio, numa abordagem construtivista. Entretanto, durante a realização do projeto Pró-Ciência\*, algumas questões que já haviam sido utilizadas em trabalhos anteriores para diagnosticar concepções alternativas em alunos, foram aplicadas aos docentes participantes e suas respostas *revelaram que muitos apresentavam noções alternativas semelhantes àquelas levantadas entre os alunos.*

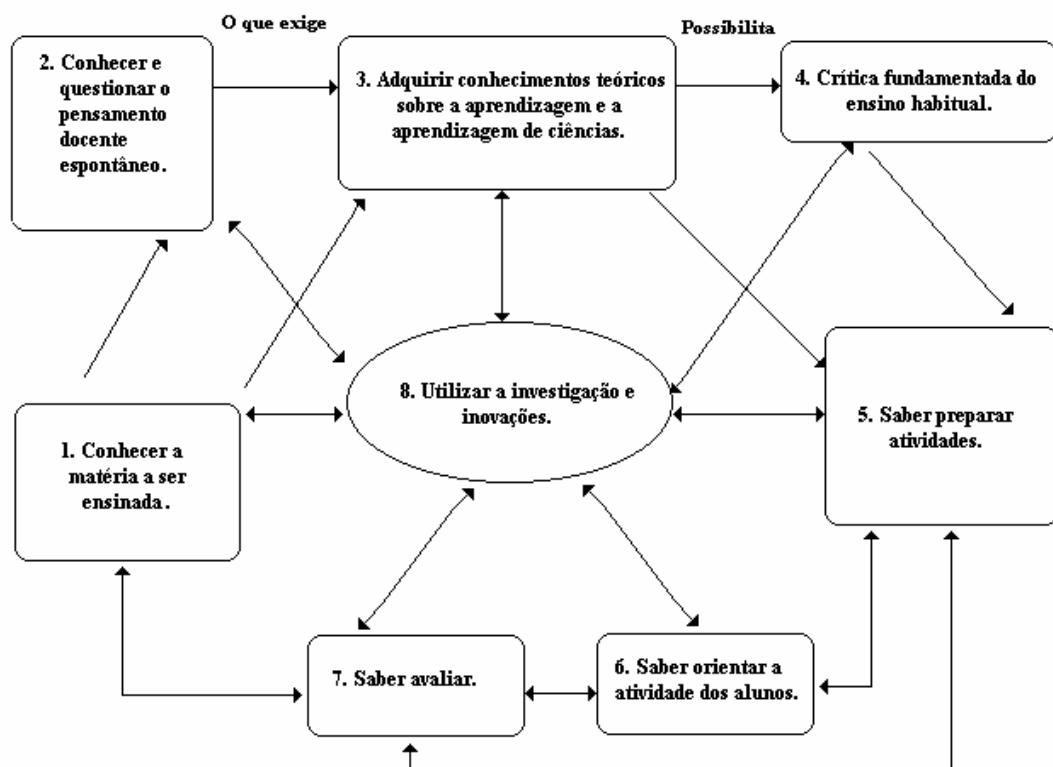
Além disso, parece existir uma certa relutância por parte dos professores em aceitar e utilizar inovações (Duschl, 1995).

[...] tal dificuldade surge do fato de que se deve estabelecer uma nova visão de aprendizagem em sala de aula e os professores tem de participar de mudanças fundamentais de opinião necessárias para que esta nova proposta torne-se realidade. [...] Outra dificuldade é determinada pela concepção que os docentes têm sobre a ciência e seu ensino, que fazem com que eles as considerem basicamente como processos de exploração e as dinâmicas sociais em sala de aula dirigidas a controlar o comportamento dos alunos. Nossos professores não estão acostumados a usar a informação dos alunos para dirigir e revisar a tomada de decisões instrucionais. A maior parte do *feedback* está relacionado com um bom ou mal comportamento (Duschl, 1995, p. 11)

---

\* O Pró-Ciência trata-se de um projeto de educação continuada promovido pelos Departamentos de Física e Educação da Faculdade de Ciências da UNESP – Câmpus de Bauru, financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Foi realizado no período de julho/1999 a fevereiro/2000, contando com a participação de docentes de Física de ensino médio da região de Bauru.

Gil Perez (1991) evidencia que a maior parte das crenças do professor de ciências sobre os processos de ensino e aprendizagem revelam uma aceitação acrítica que ele denomina *docência de senso comum*. O autor sintetiza uma proposta baseada na noção de aprendizagem através da construção de conhecimentos com as características de uma investigação científica e na necessidade de modificar o pensamento espontâneo do professor.



**FIGURA 1.1:** O que devem saber e saber fazer os professores de ciências. (Gil Perez, 1991, p. 71)

Tais resultados serviram para que nossos objetivos iniciais fossem revistos. O problema desta pesquisa é fruto da preocupação com a formação do docente de Física que atua em nível médio.

*A partir do tema atração gravitacional desenvolvemos um plano de curso utilizando como subsídios: 1) as concepções alternativas dos estudantes (e dos próprios docentes), 2) a História da Ciência e 3) resultados de pesquisas recentes sobre os processos de ensino e aprendizagem.*

Mais do que discutir o movimento dos corpos na superfície da Terra e suas causas em diversos momentos históricos, este curso pretende utilizar a História da Ciência como pano de fundo de discussões que envolvam a formação do docente, encarada de forma ampla. A proposta visa fornecer elementos de reflexão que proporcionem mudanças de postura na ação docente.

Assim, no capítulo 2, são apresentadas concepções alternativas de indivíduos de diversas faixas etárias relativas ao tema extraídas da literatura e resultados de um levantamento realizado com os docentes participantes do projeto Pró-Ciência anteriormente mencionado.

No capítulo 3, procuramos evidenciar as discussões sobre a utilização da História da Ciência no ensino.

Um esboço da evolução histórica dos modelos de mundo e de como a noção de gravidade é compreendida em cada um deles é apresentado no capítulo 4. Tal levantamento foi utilizado como base para a realização de atividades propostas neste estudo, com o objetivo de proporcionar ao docente uma visão geral da construção do conceito.

O capítulo 5 apresenta alguns aspectos importantes sobre evolução das discussões sobre a mudança conceitual.

Os capítulos 6 e 7 apresentam respectivamente a fundamentação teórica para a estruturação do curso e sugestões de atividades propostas.

No capítulo 8 são feitas as considerações finais, procurando evidenciar as relações que procuramos estabelecer entre a proposta do curso e a fundamentação teórica.







## 2

### AS PESQUISAS SOBRE “CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS” E O ESTUDO DO CONCEITO DE GRAVIDADE

Pesquisas realizadas nas últimas décadas têm mostrado a importância de se considerar no ensino as chamadas "idéias prévias" ou "espontâneas" \* que os alunos trazem para a sala de aula. Inúmeros foram os trabalhos desenvolvidos procurando levantar as estruturas alternativas de estudantes e professores em diversas áreas do conhecimento, buscando analisar sua influência na aquisição de conceitos.

Esta extensa literatura indica

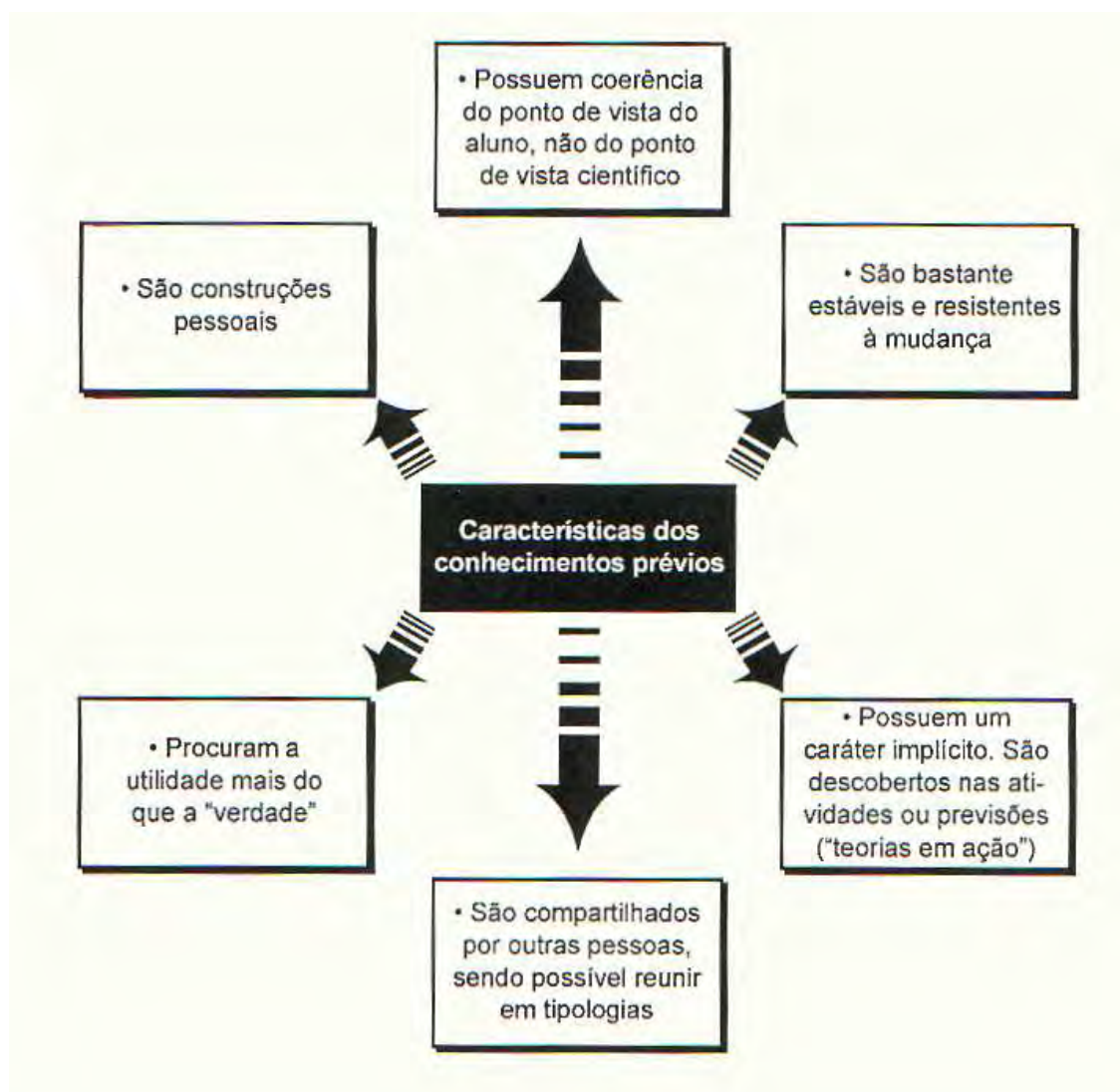
“[...] que as crianças vêm para as aulas de ciências com concepções prévias que podem diferir substancialmente das idéias a

---

\* Há muitos termos utilizados pelos pesquisadores em ensino de ciências quando se referem à idéias que os alunos trazem para a sala de aula, previamente concebidas ao ensino formal, tais como: “conceitos intuitivos”, “concepções espontâneas”, “idéias ingênuas”, “concepções alternativas” etc. Neste texto utilizaremos estes termos como sinônimos.

serem ensinadas, que estas concepções influenciam a aprendizagem futura e que elas podem ser resistentes à mudanças” (Driver, 1989, p. 481).

As principais características de tais concepções segundo Coll et. al (1998) são apresentadas na figura abaixo:



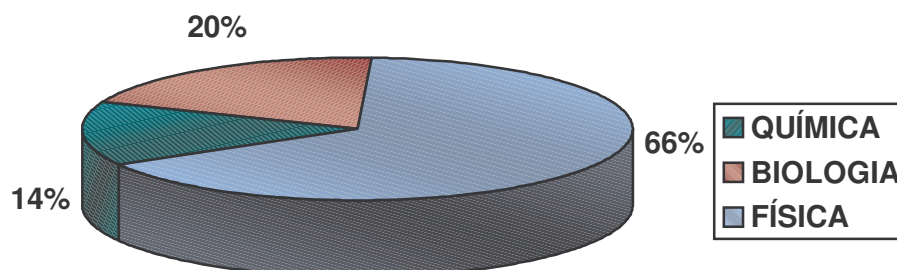
**FIGURA 2.1:** Características dos conhecimentos prévios. (Coll, Pozo, Sarabia e Valls, 1998, p. 41)

Um dos levantamentos mais completos sobre as pesquisas realizadas nessa linha foi elaborado por Pfundt e Duit (1994), conforme o quadro abaixo (Quadro 2.1).

Área Geral	Nº de Estudos	Tópicos Específicos
<b>MECÂNICA</b>	421	Força e movimento; trabalho, força, energia, velocidade, aceleração, gravidade, pressão, densidade, flutuação, afundamento.
<b>ELETRICIDADE</b>	218	Circuitos simples e ramificados; estruturas topológicas e geométricas; modelos de fluxo de corrente; corrente, voltagem e resistência; eletromagnetismo.
<b>PARTÍCULAS</b>	119	Estrutura da matéria; explicação de fenômenos (por ex. calor, estados da matéria); concepções de átomo; radioatividade.
<b>ÓPTICA</b>	111	Luz; propagação da luz; visão; cor.
<b>ENERGIA</b>	103	Transformação da energia, conservação, degradação.
<b>CALOR</b>	100	Calor e temperatura; transferência de calor; dilatação por aquecimento; mudança de estado; ebulição; solidificação; explicação do fenômeno do calor no modelo de partículas.
		Forma da Terra; concepções do universo;

ASTRONOMIA	59	características da atração gravitacional; satélites.
FÍSICA MODERNA	35	Física Quântica; Relatividade especial.
BIOLOGIA	336	Nutrição vegetal; fotossíntese; osmose; vida; origem da vida; evolução, sistema circulatório humano; genética; saúde; crescimento.
QUÍMICA	225	Combustão; oxidação; reações químicas; transformações de substâncias; equilíbrio químico; símbolos; fórmulas; conceito de mol; eletroquímica.

**QUADRO 2.1:** Número de estudos sobre concepções de estudantes em diferentes



**FIGURA 2.2:** Porcentagens de estudos sobre concepções dos estudantes em Biologia, Química e Física (Pfundt & Duit, 1994, p. xxvii)

áreas da Ciência (Pfundt & Duit, 1994, p. xxvi).

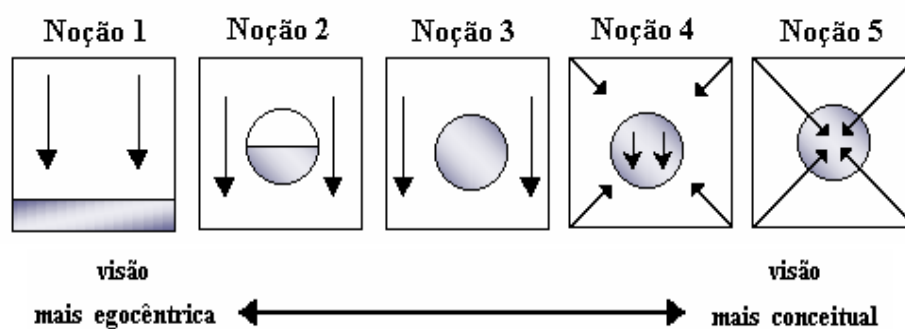
Esses resultados contribuíram para questionar a postura tradicional de ensino na qual o aluno é agente passivo nos processos de ensino e aprendizagem, uma espécie de “sorvedouro” de conhecimentos.

Neste capítulo consideramos as concepções de indivíduos de diversas faixas etárias sobre o conceito de gravidade, buscando evidenciar as noções mais comuns, incluindo ainda uma breve discussão acerca de algumas concepções apresentadas por docentes participantes do projeto Pró-Ciência.

Tais concepções relatadas em diversas pesquisas podem não ser as únicas entretanto,

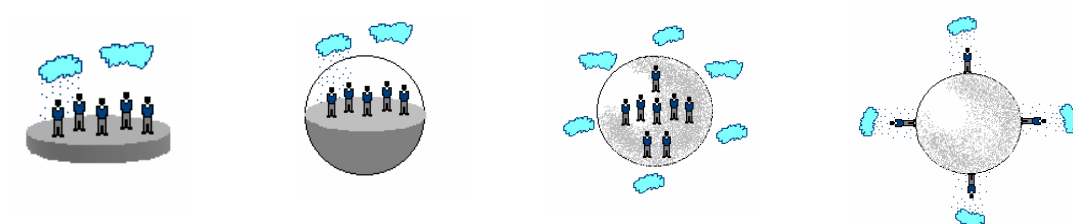
[...] vários estudos realizados [...] encontraram os mesmos tipos de noções sendo defendidas por crianças de diferentes idades e de diferentes origens étnicas (Nussbaum, 1985, p. 178).

Nussbaum (1979) resume as várias noções de crianças israelenses sobre a Terra no esquema abaixo:



**FIGURA 2.3:** Várias noções de Terra apresentadas por crianças israelenses. (Nussbaum, 1979, p. 83)

Outros autores (Nussbaum e Novak, 1976; Mali e Howe, 1979; Baxter, 1989; Nardi, 1989, por exemplo) apresentaram em suas pesquisas com estudantes, resultados similares.



**FIGURA 2.4:** A evolução das concepções de crianças sobre o tópico “ A Terra no espaço e campo gravitacional” (adaptado de Baxter,1989, p. 505).

Os trabalhos acima mencionados revelam-nos que a noção do formato da Terra se desenvolve nos indivíduos antes do conceito de gravidade, o que fica claro a partir da análise dos esquemas.

Devemos admitir entretanto, que o conceito de gravidade pode não ser trivial para o indivíduo que deve relacionar os movimentos na superfície da Terra com o movimento dos corpos no espaço.

Diante desse desafio, como os indivíduos relacionam as noções de peso, queda dos corpos, a necessidade de um meio e força da gravidade?

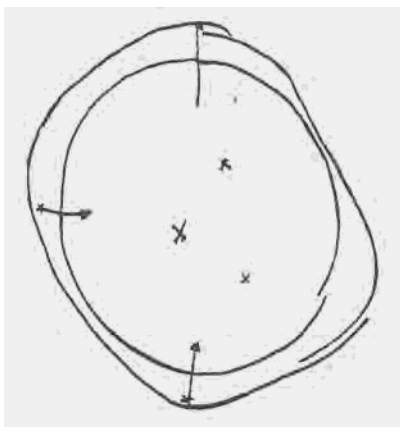
O trabalho de Nardi (1989) procurou verificar como ocorria a evolução das idéias responsáveis pela formação da noção de campo entre sujeitos com idades entre seis e dezessete anos.

Os exemplos abaixo mostram trechos das entrevistas realizadas com estudantes da amostra:

- Limite de atuação para a força gravitacional, relacionada com a atmosfera.

*Entrevistador: Por que quando você solta uma pedra aqui (apontando para o desenho, “dentro da atmosfera”) ela cai?” TIA : “Por que aqui (dentro), tem gravidade; e aqui (fora), não tem” (Nardi, 1989, p. 244).*

*“Entrevistador: [...] quando um objeto cai? PAI: Acho que ele só cai quando ele está, digamos... assim...quando ele está dentro...por exemplo, tem também a atmosfera que envolve a Terra, certo?...Quando ele está dentro dessa camada de atmosfera...por exemplo, se ele está aqui e se ele se jogar de um avião...ele vai cair...porque ele não...provavelmente não ultrapassou essa camada da atmosfera...agora o foguete já ultrapassa...então...alguma coisa segura ele lá em*



*cima” (Nardi, 1989, p. 277).*

**FIGURA 2.5:** Concepção alternativa sobre o “limite” de atuação para a força atrativa (Nardi, 1989, p. 278)



***Tais concepções sugerem a***

- necessidade da presença de um meio para que a força atrativa possa atuar.

Na tentativa de explicar os diferentes comportamentos entre os corpos na superfície da Terra e corpos no espaço, o entrevistado sugere a presença de um meio físico que permeia o espaço mas não atinge a Terra.

*“FEN. É um tipo de ar, que você fica dentro dele e fica flutuando...dentro da Terra esse aí não vai ter...dentro da Terra, então você fica no solo...”* (Nardi, 1989, p. 267).

A pesquisa de Halloun e Hestenes (1985) revela que entre os 22 alunos da amostra pesquisada, todos aceitavam a existência do vácuo, entretanto, mantinham a concepção de que o movimento é impossível na ausência de um meio.

O trecho abaixo, extraído de uma das entrevistas, ilustra esta concepção.

*“Se você solta um corpo no vácuo, ele permanece onde está...Não há movimento no vácuo...porque a gravidade não age no vácuo. A gravidade age apenas onde existe ar...um corpo cai por causa do ar que o empurra...O ar também empurra o corpo em todas as direções; isto é fricção...Mas o empurrão para baixo é maior do que a fricção e é por isso que um corpo cai.”*  
(Halloun e Hestenes, 1985, p.1060)

Whitaker (1983) estudou as concepções de movimento de cem estudantes que cursavam diferentes níveis de cursos introdutórios de Física utilizando questões baseadas nas “experiências de pensamento” de Galileu.

No caso de dois corpos de mesmo formato e tamanho mas pesos diferentes, a previsão da queda para muitos estudantes revela uma concepção semelhante àquela proposta pela dinâmica aristotélica, ou seja, a velocidade de queda é proporcional ao peso do corpo. Dessa forma, admite-se que o corpo mais pesado atinge o solo primeiro. Algumas justificativas apresentadas pelos estudantes:

- Porque é mais pesado.
- A bola mais pesada viajará mais rápido do que a bola mais leve.
- Existirá maior atração gravitacional na bola mais pesada.

O autor revela que entre estudantes que tinham concluído o ensino médio, o número de respostas corretas aumentou em relação àqueles que ainda não o tinham feito. Entretanto, o ensino formal não foi capaz de modificar as noções alternativas.

Zylbersztajn (1983), apresenta exemplos de noções de jovens adolescentes sobre gravidade que foram extraídos de estudos realizados na Europa e Estados Unidos, em sua maioria. As noções são as seguintes:

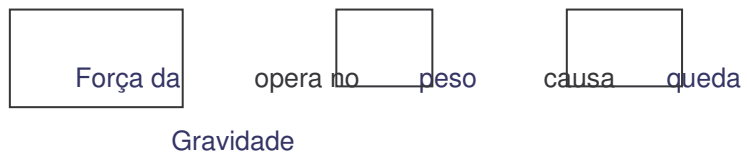
- Tendência a associar a força da gravidade com a existência da atmosfera. Aqui o ar é encarado como o meio transmissor da força atrativa e portanto objetos flutuam no espaço devido à não existência de atmosfera.
- A força da gravidade parece aumentar com a altura. Cerca de 50% dos alunos envolvidos na pesquisa responderam que uma força maior atua sobre um carro posicionado no alto de uma ladeira do que sobre um carro semelhante situado mais abaixo. Tal noção, segundo o autor, é também mencionada em outros trabalhos o que pode sugerir a presença de uma idéia intuitiva inicial de energia potencial gravitacional.
- O caso de uma pedra lançada verticalmente mostrou que, para alguns, a gravidade age durante todo o movimento; outros, entretanto, parecem imaginar que a força da gravidade age somente durante a queda. Para alguns poucos ainda, a palavra gravidade parece ser simplesmente um nome associado à queda de corpos, não implicando necessariamente na existência de uma força.

O trabalho de Ruggiero et. al. (1985) relata os esquemas do senso comum que relacionam três elementos (peso, ar e gravidade) ao fenômeno da queda livre, obtidos a partir de um estudo envolvendo crianças italianas com idades entre 12 e 13 anos.

Inicialmente foram obtidos os seguintes esquemas:

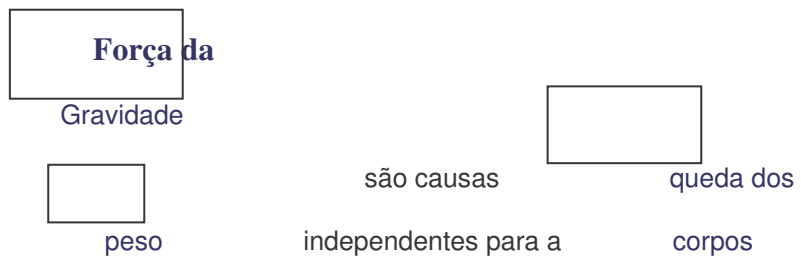
- **Esquema A:**

A força da gravidade, atuando em uma propriedade intrínseca dos objetos (peso) causa sua queda. Aqui, a noção de peso pode coincidir com o conceito de massa.



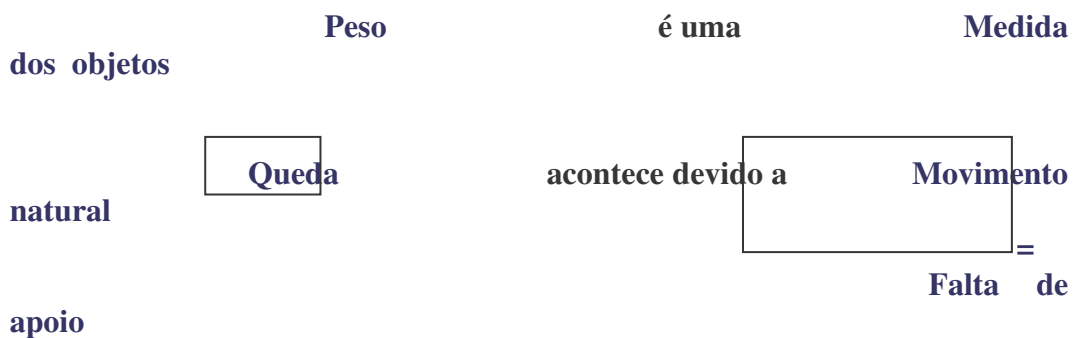
• **Esquema B:**

Peso e gravidade são considerados causas independentes para a queda dos corpos.



• **Esquema C:**





Nos esquemas apresentados acima, a influência da variável “ar” não aparece explicitamente. A partir de novas questões os autores introduzem um novo esquema (D) que corresponde à noção científica e subdividem os demais.

*Esquema A - a pressão do ar é a causa da gravidade*

A<sub>1</sub>: O peso de um objeto é nulo na ausência de ar.

A<sub>2</sub>: O peso (como uma propriedade dos objetos) não varia.

Em ambos os casos o peso é encarado como uma propriedade dos objetos, entretanto em A<sub>1</sub>, tal propriedade só se manifesta na presença do ar.

## *Esquema B*

B<sub>1</sub>: Peso e gravidade dependem do ar.

B<sub>2</sub>: O ar opera em apenas um dos dois.

## *Esquema C*

C<sub>1</sub>: Ocorre quando o ar influencia o peso, a queda ou ambos.

C<sub>2</sub>: Quando a descrição do fenômeno na Terra é correta (equivalente ao esquema D), mas a gravidade é uma propriedade apenas da Terra e o “vácuo espacial” é diferente do “vácuo terrestre”.

C<sub>3</sub>: Descrição correta exceto pelo fato de que a queda é considerada como um “movimento natural” que não requer outras causas.

Os autores não identificaram em sua amostra noções que pudessem ser classificadas como C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>. O quadro abaixo mostra a frequência de distribuição dos esquemas.

<b>Esquema</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>D</b>
Número de alunos	11	2	2	7	16	2
Frequência (%)	27,5	5	5	17,5	40	5

**TABELA 2.1** . Frequência de distribuição dos esquemas (Ruggiero et. al., 1985, p. 193)

A partir desses dados podemos perceber que grande parte dos estudantes acredita que um corpo não possui peso no vácuo ( $A_1$ ) e que o ar é um elemento fundamental que deve influenciar o peso para que um objeto descreva um movimento de queda livre ( $C_1$ ). Apenas uma minoria foi capaz de explicar os fenômenos apresentados nas questões utilizando a noção científica (D).

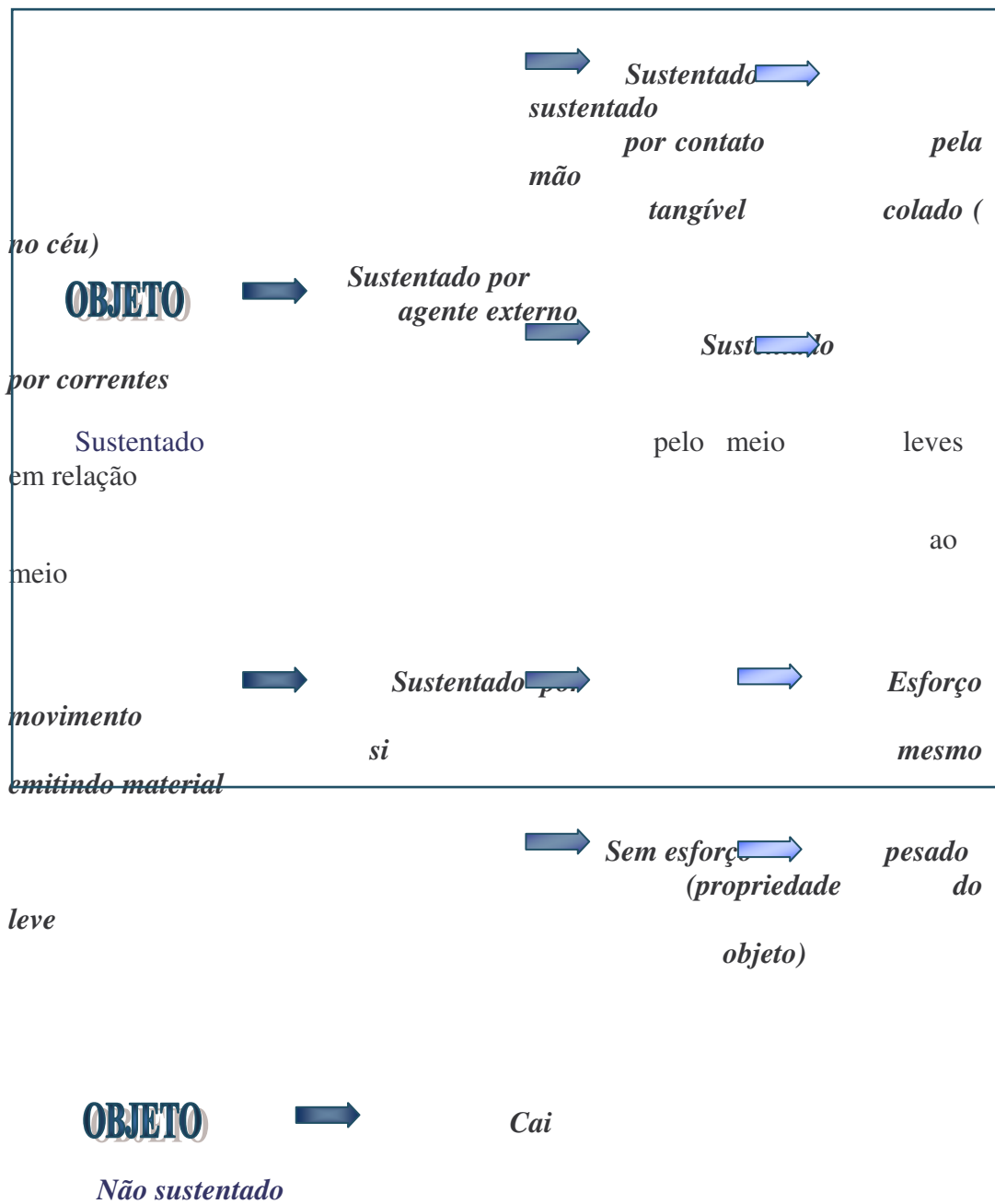
Os estudos de **Gunstone e White (1980)**, realizados com calouros da Universidade de Monash (Austrália), utilizaram questões em que os alunos deveriam fazer um prognóstico, demonstração, observação e explanação a respeito de situações físicas que envolvessem algum aspecto de gravidade.

Em linhas gerais, tal estudo concluiu que: os alunos conhecem um pouco de Física, mas não a relacionam com o mundo cotidiano; possuem uma grande dificuldade em explicar a previsão e resolver as discrepâncias observadas; utilizam equações matemáticas para explicar suas previsões de forma imprópria (apesar de serem alunos bem sucedidos, após 13 anos de escolarização).

Em um outro estudo, Bar et. al. (1994) classificam as concepções de crianças com idades entre 4 e 13 anos sobre peso e queda livre, em três categorias que foram utilizadas na interpretação de dados referentes à questões que buscavam identificar a causa da queda dos corpos.

A. *Suporte*.

As explicações das crianças que puderam ser classificadas como *suporte* foram analisadas de acordo com o esquema abaixo.





**FIGURA 2.6:** Explicações das crianças com relação ao suporte  
(adaptado de Bar et al, 1994, p. 156)

***A. Peso.***

Cerca de 20% das crianças entre 5 e 10 anos sustentam a noção de que um determinado objeto cai por ser pesado. Em contrapartida, corpos leves não caem.

***B. A força atrativa da Terra.***

A maior parte das crianças entre 9 e 13 anos faz referência à força atrativa da Terra para explicar a queda de um corpo. Nesta faixa etária, os indivíduos crêem que o Sol, a Lua e as nuvens não caem, por estarem fora do alcance da força atrativa.

A segunda parte deste estudo contempla as predições dos estudantes sobre a queda de dois objetos de mesmo tamanho e pesos diferentes.

4 a 5 anos - Objetos atingirão o solo ao mesmo tempo. Nesta idade, as crianças não consideram os pesos relativos como variáveis relevantes.

5 a 7 anos - Aproximadamente 50% dos indivíduos acreditam que os objetos leves precederão os pesados, argumentando que quanto mais leve for o objeto, mais rápido este será.

A partir dos 7 anos - O peso e a força atrativa são considerados, e a maioria afirma que o objeto mais pesado cairá primeiro.

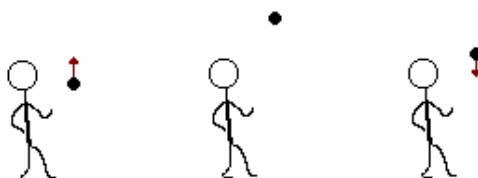
Aos 13 anos - Um considerável número de estudantes afirma que os dois corpos atingirão o solo simultaneamente, baseados em experiências ou na leitura dos experimentos de Galileo. Tais respostas, apesar de corretas, não refletem uma visão newtoniana, já que o argumento mais utilizado é que as forças que atuam nos dois corpos são iguais.

O trabalho de Berg e Brouwer (1991) teve como objetivo comparar as concepções sobre movimento circular e gravidade de 315 alunos na faixa etária dos 15 anos em Edmonton (Canadá) com as expectativas de 20 professores e com noções presentes em outros trabalhos de pesquisa.

Os autores destacam que os professores, enquanto um grupo, conseguiram identificar os tipos de concepções usadas pelos estudantes. Individualmente entretanto, *muitos demonstraram ainda possuir noções espontâneas.*

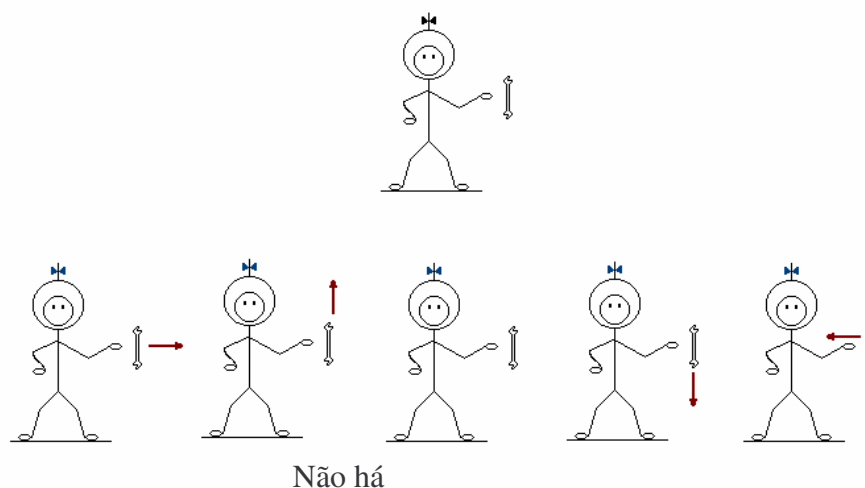
Entre as noções expostas pelas questões utilizadas na pesquisa podemos destacar que, no caso de um corpo lançado verticalmente para cima, a

maioria dos estudantes entrevistados (56,2%) crê na existência de uma força “para cima” que é responsável pelo movimento ascendente, em uma força “para baixo” durante a queda e que, no alto da trajetória, como o corpo está momentaneamente em repouso, não existem forças agindo. Além da existência de um “ímpetus” responsável pelo movimento do corpo na primeira parte da trajetória, podemos observar que para estes estudantes, a força gravitacional atua no corpo somente durante a queda.



**FIGURA 2.7:** Representação da concepção espontânea expressada pela maioria dos estudantes entrevistados: força resultante atuando em um corpo lançado verticalmente para cima  
(Adaptado de Berg e Brouwer, 1991, p.6)

Outra questão reveladora utilizada nesta pesquisa refere-se ao caso de um astronauta na superfície da Lua segurando uma ferramenta. Os estudantes deveriam, através da figura abaixo, definir a direção da força que estaria atuando na ferramenta após ter sido abandonada pelo astronauta.



**FIGURA 2.8:** A força sobre uma ferramenta abandonada pelo homem na Lua (Adaptado de Berg e Brouwer, 1991, p.10)

Os autores afirmam que no estudo realizado por Watts e Zylbersztajn (1981), quase 80% dos estudantes avaliados predisseram que a ferramenta iria flutuar ou seria afastada da Lua. Resultados similares foram obtidos por Ruggiero et. al. (1985). Entretanto, dos 20 professores que faziam parte da amostra na pesquisa de Berg e Brouwer (1991), cerca de 73,5% consideraram a questão trivial e predisseram que os estudantes optariam pela resposta correta. Os resultados obtidos não confirmaram as previsões dos professores, conforme a tabela abaixo:

Respostas dos estudantes	Watts e Zylbersztajn (1981)	Parcela dos estudantes que	Todos os alunos	Ruggiero et. al. (1985)	Expectativa dos professores
--------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----------------	-------------------------	-----------------------------

		planejavam fazer Física	da amostra		de Edmonton
Rumo à superfície da Lua.		32,2%	28,9%	5% a	73,5%
Afastando-se do astronauta.	Quase a totalidade	12,6%	12,7%	45%	7,0%
Afastando-se da Lua.		17,5%	22,2%		6,0%
Flutua (não há força).		27,9%	29,5%	55% a	10,6%
Em direção ao astronauta.		1,6%	1,3%	95%	0,3%
Outras respostas.		3,3%	5,4%		2,75%
Total	(N = 125)	(N = 183)	(N = 315)	(N = 40)	(N = 20)

**TABELA 2.2:** Análise das concepções obtidas em diversos estudos sobre a queda dos corpos na superfície da Lua (Berg e Brouwer, 1991, p.11)

Os pesquisadores destacam algumas crenças comuns reveladas no trabalho como um todo:

- Ausência de gravidade na Lua devido à falta da atmosfera;
- Como a Lua situa-se no espaço, não possui gravidade;
- Força age sempre na direção do movimento;

O trabalho de Treagust e Smith (1989) procurou desvendar as concepções de 24 estudantes australianos com idades a partir de 15 anos sobre gravidade e o movimento dos planetas. Os autores assinalam que a maioria dos indivíduos da amostra demonstrou possuir as seguintes concepções alternativas:

- A gravidade de um planeta está relacionada com sua distância ao Sol;
- A gravidade do Sol influencia não apenas as órbitas, mas também a gravidade dos planetas;
- O movimento de rotação de um planeta, ou sua ausência, afeta a gravidade. Os planetas com menor velocidade de rotação, possuem menos gravidade;
- A temperatura superficial de um planeta afeta sua gravidade.

## **2.1 - Alguns padrões de noções mais comuns**

Podemos notar nesta análise preliminar determinados padrões de pensamento que se repetem e podem, de certa forma, ser generalizados.

- Toda força necessita de um meio para se propagar.  
A gravidade depende da presença da atmosfera; assim, os astronautas “flutuam” devido à ausência de atmosfera.  
Os corpos não têm peso no vácuo.

- A força da gravidade possui um limite de atuação, que pode coincidir com o fim da atmosfera.

Os corpos celestes como o Sol, a Lua e as estrelas não “caem” porque estão fora do alcance da força atrativa da Terra.

- No caso de dois corpos com massas diferentes, o mais pesado atingirá o chão primeiro.
- Força age sempre na direção do movimento.

Força gravitacional age em um corpo somente durante seu movimento descendente.

## 2.2 – Algumas concepções de docentes em exercício.

Paralelamente um levantamento, tendo por base algumas questões utilizadas nas pesquisas anteriores, foi realizado junto a uma amostra de docentes em exercício no ensino médio.\*

O levantamento revelou algumas respostas que são esboçadas a seguir.

Questão 1: Uma bola de tênis é lançada verticalmente para cima. Identifique a força que age na bola enquanto ela sobe, no ponto mais alto de sua trajetória e durante a queda. \*

---

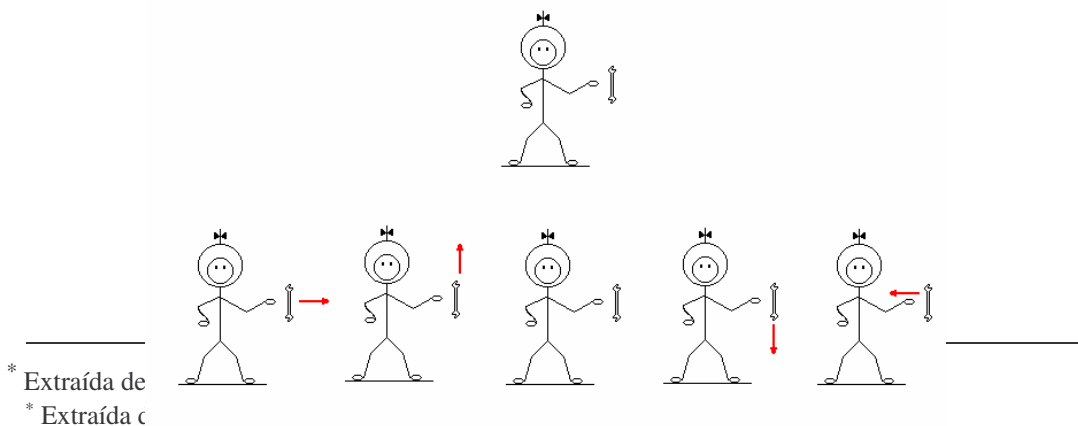
\* A amostra foi composta de 34 docentes participantes de projeto de educação continuada (Pró-Ciência). No anexo 3, uma breve caracterização da amostra é apresentada.



Categorias	Docentes da amostra	%
Força que age durante todo o movimento é identificada como a atração gravitacional.	14	41.2
Força agindo na direção do movimento. Força gravitacional age somente durante a queda.	10	29.4
Não responderam	6	17.6
Respostas ininteligíveis	3	8.8
Força responsável pelo movimento ascendente do corpo é identificada como a força normal.	1	2.9
TOTAL	34	100

**TABELA 2.3:** Categorias de respostas dos docentes da amostra.

Questão 2: Um astronauta na superfície da Lua está segurando uma ferramenta. Ao soltá-la, quais das figuras abaixo melhor ilustra a direção da força que atua na ferramenta:\*

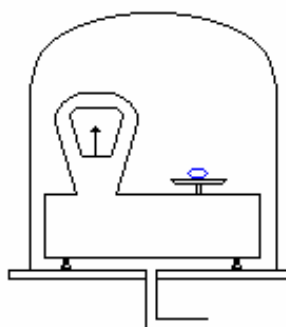




<b>Categorias</b>	<b>Docentes da amostra</b>	<b>%</b>
Rumo à superfície da Lua.	17	50.0
Flutua (não há força).	7	20.5
Afastando-se da Lua.	5	14.7
Em direção ao astronauta.	1	2,9
Afastando-se do astronauta.	1	2.9
Duas respostas: flutua ou se afasta da Lua.	1	2.9
Não responderam.	2	5.9
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>100</b>

**TABELA 2.4:** Categorias de respostas dos docentes da amostra

Questão 3: Na situação abaixo, uma balança está dentro de um recipiente totalmente fechado. O que acontecerá com a indicação da balança se o ar for retirado do recipiente através de uma bomba de vácuo?\*



<b>Categorias</b>	<b>Docentes da amostra</b>	<b>%</b>
-------------------	----------------------------	----------

\* Extraída de Ruggiero et. al. (1985)

A ausência do ar não interfere na indicação.	16	47.0
A indicação da balança <i>marca um peso menor</i> .	7	20.6
Não responderam	5	4.7
O corpo não tem peso no vácuo. A indicação da balança é zero.	3	8.8
A balança registra alguma alteração que não foi especificada.	2	5.9
A indicação da balança <i>marca um peso maior</i> .	1	2.9
TOTAL	34	100

**TABELA 2.5:** Categorias de respostas dos docentes da amostra

Questão 4: Se os corpos são atraídos para a superfície da Terra, explique porque o Sol e a Lua permanecem no céu sem cair.\*

<b>Categorias</b>	<b>Docentes da amostra</b>	<b>%</b>
Força gravitacional é citada como causa sem que haja referência ao tipo de atuação.	12	35.3
Não responderam.	10	29.4
Não caem porque estão em movimento.	2	5.9
Não caem pois a distância que os separa da Terra é muito grande.	2	5.9

---

\* Extraída de Bar et. al. (1994).

Suas dimensões são proporcionais a de nosso planeta.	1	2.9
O Sol não cai devido ao seu movimento de rotação.	1	2.9
Sol não cai devido a sua grande massa. A Lua porque está em movimento.	1	2.9
Respostas ininteligíveis.	1	2.9
TOTAL	34	100

**TABELA 2.6:** Categorias de respostas dos docentes da amostra

Questão 5: Dois corpos de mesmas dimensões mas com massas diferentes são abandonados da mesma altura. Qual deles deverá atingir o solo primeiro?\*

<b>Categorias</b>	<b>Docentes da amostra</b>	<b>%</b>
Os corpos atingirão o solo simultaneamente.	13	38.2
Os corpos somente atingirão o solo simultaneamente se desprezarmos a resistência do meio.	3	8.8
O corpo de maior massa atingirá o solo primeiro.	6	17.6
O corpo de maior massa atingirá o solo primeiro devido à resistência do ar.	3	8.8
Não responderam	9	24.5
TOTAL	34	100

**TABELA 2.7:** Categorias de respostas dos docentes da amostra

A questão do meio não foi abordada explicitamente no enunciado desta questão e como sugerem os resultados, nem todos os participantes destacaram sua importância na análise do movimento.

---

\* Extraída de Bar et. al. (1994).

Os resultados apresentados acima, sugerem uma forte persistência de concepções alternativas entre os docentes pesquisados, semelhantes àquelas diagnosticadas em estudos anteriormente realizados com estudantes.



# 3

## A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS

### 3.1 - Introdução

Na presente pesquisa, a História da Ciência desempenha um papel fundamental na elaboração das atividades de ensino propostas. É portanto indispensável que se discuta os argumentos sob os quais se procura justificar a inclusão de aspectos históricos no ensino de ciências, mais especificamente, no ensino de Física.

Solbes e Traver (1996) revelam que a linha de investigação que se dedica à análise da História da Ciência e suas implicações para o ensino teve início na Universidade de Harvard com o trabalho desenvolvido por J.B. Contant em 1957, quando alunos dos cursos de ciências humanas começaram a estudar processos chave no desenvolvimento da ciência, buscando identificar suas implicações filosóficas, sociais etc.

Outras publicações se seguiram e atualmente presenciamos opiniões diversas entre pensadores que ocupam campos opostos: na defesa e

oposição à inserção da História como subsídio para o ensino de ciências. Suas razões serão abordadas no decorrer deste capítulo.

Uma questão mostra-se pertinente nesta discussão: se o campo de pesquisa não é tão recente, porque sua influência não foi tão significativa no ensino e na produção de materiais didáticos? Solbes e Traver (1996) lançam duas hipóteses:

- a) Imagem distorcida do processo de construção da ciência transmitida nas universidades aos futuros professores;
- b) Dificuldade didática dos aspectos envolvidos nas teorias inviabiliza sua introdução no ensino.

E quanto as pesquisas que discutem o problema? Os autores afirmam que [...] grande parte dos trabalhos realizados são bastante teóricos e não mostram dados referentes à investigação em sala de aula na qual se detectam as possíveis carências dos alunos, não oferecem alternativas nem apresentam inovações. [...] também são muito escassos os materiais de aula que permitiriam realizar a transposição didática dessas reflexões teóricas (Solbes e Traver, 1996, p.104).

Infelizmente o que comumente ocorre é que a maioria dos textos didáticos que pretendem utilizar a História da Ciência como subsídio para o ensino, o fazem seguindo uma receita muito comum: datas marcantes e nomes ilustres. Mas, assim como na vida cotidiana temos dificuldade em compreender acontecimentos totalmente desvinculados de sua origem e desenvolvimento, enumerar parcialmente teorias descontextualizadas e sem uma preocupação com uma discussão mais

profunda de seus fundamentos, acarretará em prejuízo pois, aos olhos do leitor, não passarão de um amontoado de fatos desconexos.

Menezes (1980) salienta que

[...] no ensino convencional de Física, considerações históricas sobre descobertas etc., tem um papel meramente ilustrativo ou anedótico ao invés de ser parte efetiva do processo educacional. Aprende-se uma ciência que parece estar estruturada marginalmente ao contexto social e às condições sócio-econômicas (Menezes, 1980, p. 94).

Porque utilizar a História da Ciência no ensino, como fazê-lo de forma coerente e quais os argumentos que justificam sua inserção como subsídio capaz de gerar contribuições na formação dos docentes são temas que serão discutidos neste capítulo.

### **3.2 – Algumas críticas à utilização da História da Ciência no ensino de ciências**

Uma das críticas mais frequentes à inserção da história no ensino é dirigida ao conteúdo dos manuais utilizados e a visão de ciência que os permeia. Thomas Kuhn (1975) salienta que

[...] o objetivo de tais livros é inevitavelmente persuasivo e pedagógico; um conceito de ciência deles haurido terá tantas probabilidades de assemelhar-se



ao empreendimento que os produziu como a imagem de uma cultura nacional obtida através de um folheto turístico ou manual de línguas (Kuhn, 1975, p.19).

Este autor argumenta que o pouco de história contida nesses manuais freqüentemente apresenta distorções, faz referências dispersas à grandes heróis de épocas anteriores e transmite uma imagem cumulativa e linear do desenvolvimento científico.

[...] os manuais científicos (e muitas das antigas histórias da ciência) referem-se somente àquelas partes do trabalho de antigos cientistas que podem ser facilmente consideradas como contribuições ao enunciado e à solução dos problemas apresentados pelo paradigma dos manuais. Em parte por seleção e em parte por distorção, os cientistas de épocas anteriores são implicitamente representados *como se tivessem trabalhado sobre o mesmo conjunto de problemas fixos e utilizando o mesmo conjunto de cânones estáveis* que a revolução mais recente em teoria e metodologia científica fez parecer científicos (Kuhn, 1975, p. 175-6, grifo meu).

O próprio Kuhn oferece um exemplo bastante significativo:

Newton escreveu que Galileu descobrira que a força constante da gravidade produz um movimento proporcional ao quadrado do tempo. De fato, o teorema cinemático de Galileu realmente toma essa forma quando inserido na matriz dos próprios conceitos dinâmicos de Newton. Mas Galileu não afirmou nada nesse gênero. Sua discussão a respeito da queda dos corpos raramente alude a forças e muito menos a uma força gravitacional uniforme

que causasse a queda dos corpos. Ao atribuir a Galileu a resposta a uma questão que os paradigmas de Galileu não permitiam colocar, o relato de Newton esconde o efeito de uma pequena mas revolucionária reformulação nas questões que os cientistas colocavam a respeito do movimento, bem como nas respostas que estavam dispostos a admitir. Mas é justamente essa mudança na formulação de perguntas e respostas que dá conta, bem mais do que as novas descobertas empíricas, da transição da Dinâmica aristotélica para a de Galileu e da de Galileu para a de Newton (Kuhn, 1975, p.177).

Sanchés Ron (1988) assinala algumas dificuldades na inserção da História da Ciência no ensino de nível médio:

- 1) Os estudiosos da história geral não têm explorado a riqueza dos trabalhos produzidos nas últimas décadas por historiadores da ciência. Consequentemente o docente não dispõe de muitas opções quando decide trabalhar com aspectos históricos da evolução dos conceitos;
- 2) Mesmo um trabalho histórico que envolva uma rigorosa reconstrução não permite evidenciar a existência de um método. Muitas décadas de debates metodológicos parecem não chegar a um consenso de como a ciência evoluiu. O uso também é questionável quando se menciona a questão da “aprendizagem por descobrimento”, na qual o indivíduo deve percorrer todos os caminhos e “tropeçar” em todos os percalços históricos para obterem uma aprendizagem realmente significativa.

Já em nível universitário, Sanchés Ron (1988) argumenta que quase sempre as reconstruções são muito complicadas e exigem que o indivíduo esteja familiarizado com métodos e formas de pensar obsoletos.

Não se pode negar que os argumentos apontam problemas de difícil solução que incluem desde a falta de materiais de qualidade que subsidiem a ação docente, passando pela formação do professor e problemas estruturais do ensino, como por exemplo, a fato que currículos já “inchados” não poderiam incluir a discussão de questões históricas adequadamente.

Apesar dos argumentos em contrário, acreditamos na importância do uso da História da Ciência no ensino de Ciências como forma de contribuir para uma mudança de postura diante dos conteúdos, desmistificando a evolução do conhecimento científico.

O que nos resta fazer? Render-se aos problemas e encará-los como irremediáveis gera uma situação de imobilismo. Essa discussão é relativamente recente e só poderá ser concluída à medida que as pesquisas em sala de aula mostrem qual é o caminho mais frutífero a seguir.

### **3.3 – Por que inserir a História da Ciência no ensino?**

Muitos autores que defendem atualmente a utilização da História da Ciência no ensino expõe seus argumentos, deixando claro que tal procedimento deve ser criterioso e possuir um profundo embasamento teórico. É necessário que se defina quais são os verdadeiros objetivos, e fundamentalmente, qual é a visão de ciência que se possui.

Não se trata de passar aos nossos alunos histórias recheadas de “curiosidades”, contribuindo para a perpetuação de uma imagem distorcida, linear e composta de muitos “gênios” que “inventaram” teorias sem estudos nem esforços.

Encarar a ciência como um produto acabado confere ao conhecimento científico uma falsa simplicidade que se revela cada vez mais como uma barreira a qualquer construção, uma vez que contribui para a formação de uma atitude ingênua frente à ciência. Ao encararmos os conteúdos da ciência como óbvios, as diversas redes de construção edificadas para dar suporte a teorias sofisticadas apresentam-se como algo natural e, portanto, de compreensão imediata (Robilotta, 1988). Assim, o conhecimento científico, construção sofisticada e gradual da mente humana, passa a ser tomado como algo passível de mera transmissão, de revelação e não de conhecimento a ser elaborado. Esta atitude mostra-se claramente nociva a qualquer tentativa de se aproximar da ciência. A introdução da dimensão histórica pode tornar o conteúdo científico mais interessante e compreensível exatamente por trazê-lo para mais perto do universo cognitivo não só do aluno, mas também do próprio homem, que, antes de conhecer cientificamente, constrói historicamente o que conhece (Castro e Carvalho, 1992).

Gil Perez (1993) relaciona algumas concepções errôneas sobre o trabalho científico que podem ser transmitidas no ensino de ciências:

**Visão empirista e aleatória:** Ressalta o papel da observação e da experimentação “neutras” (não contaminadas por idéias apriorísticas) esquecendo o papel essencial das hipóteses e da construção de um corpo coerente de conhecimentos (teoria).

[...]

**Visão rígida (algorítmica, “exata”, infalível...):** Apresenta o “método

<p>científico” como um conjunto de etapas a serem seguidas mecanicamente. Ressalta, por outro lado, o tratamento quantitativo, controle rigoroso etc., esquecendo, e inclusive rechaçando, tudo o que significa invenção, criatividade, dúvida..</p>
<p><b>Visão não problemática:</b> Transmitem-se conhecimentos já elaborados, sem mostrar quais foram os problemas que geraram sua construção, qual foi sua evolução, as dificuldades e as limitações do conhecimento atual e as perspectivas possíveis.</p>
<p><b>Visão exclusivamente analítica,</b> que ressalta a necessária parcialização dos estudos, seu caráter delimitado, simplificado, mas que resiste aos esforços posteriores de unificação e construção de corpos coerentes de conhecimentos cada vez mais amplos, o tratamento de problemas “fronteira” entre dois domínios distintos que podem chegar a unir-se, etc.</p>
<p><b>Visão cumulativa, linear:</b> Os conhecimentos aparecem como fruto de um crescimento linear, ignorando as crises, as remodelações profundas. Se ignora, em particular, a descontinuidade radical entre o tratamento científico dos problemas e o pensamento comum.</p>
<p><b>Visão de “senso comum”:</b> Os conhecimentos apresentam-se como claros, óbvios, “de senso comum”, esquecendo que a construção científica parte, precisamente, do questionamento sistemático do óbvio.</p> <p>Contribui-se implicitamente para esta visão quando se pratica o <i>reducionismo conceitual</i>, ou seja, quando se apresenta o progresso das <i>concepções alternativas</i> dos alunos aos conceitos científicos como uma simples mudança de idéias, sem considerar as mudanças metodológicas que tal transformação exige, [...].</p>
<p><b>Visão “velada”, elitista:</b> Esconde o significado dos conhecimentos atrás do aparato matemático. Não se esforça por fazer a ciência acessível, para mostrar seu caráter de construção humana, na qual não faltam nem confusões e nem erros...como os dos próprios alunos.</p> <p>Da mesma forma o trabalho científico apresenta-se como um domínio reservado a minorias especialmente dotadas, transmitindo expectativas negativas a maioria dos alunos, com claras discriminações de natureza social e sexual (a ciência é apresentada como uma atividade eminentemente “masculina”).</p>

<p><b>Visão individualista:</b> Os conhecimentos científicos aparecem como obra de gênios isolados, ignorando-se o papel do coletivo, dos intercâmbios entre grupos [...].</p>
<p><b>Visão descontextualizada, socialmente neutra:</b> Esquece as complexas relações C/T/S e proporciona uma imagem dos cientistas como seres “acima do bem e do mal”, encerrados em torres de marfim e alheios as necessárias tomadas de decisão.[...]</p>

**QUADRO 3.1:** Concepções errôneas sobre o trabalho científico (Gil Perez, 1993, p.205)

Gagliardi e Giordan (1986) defendem a idéia de que a discussão sobre o ensino de ciências deve tratar também da questão do conhecimento, não apenas como conteúdo, mas enquanto processo social de produção e apropriação.

Preocupados com uma formação ampla, que permita ao indivíduo adaptar-se a diferentes situações enquanto adquire novos conhecimentos, estes autores assinalam que a

[...] História da Ciência pode mostrar em detalhe alguns momentos de transformação profunda de uma ciência e indicar quais foram as relações sociais, econômicas e políticas que entraram em jogo, quais foram as resistências à transformação e quais setores trataram de impedir a mudança. Essa análise pode fornecer as ferramentas conceituais para que os alunos compreendam a situação atual da ciência, sua ideologia dominante e os setores que a controlam e que se beneficiam dos resultados da atividade científica (Gagliardi e Giordan, 1986, p. 254).

A utilização da História da Ciência no ensino, neste caso, significa não apenas a sua inclusão nos cursos de ciências mas também a sua utilização como “ferramenta” na definição de conteúdos fundamentais no ensino.

Na fundamentação de tal proposta, a noção de “conceitos estruturantes” merece destaque, uma vez que define noções que, ao serem construídas pelo indivíduo, auxiliam a construção de novos conhecimentos. Isto sugere a utilização no ensino de “conceitos estruturantes” que estiveram presentes em momentos históricos de profunda transformação.

Se um conceito serviu historicamente para superar um obstáculo epistemológico, pode servir também para superar os obstáculos epistemológicos dos alunos atuais (Gagliardi e Giordan, 1986, p. 255).

Gagliardi (1988) sintetiza tais idéias, mostrando as possíveis formas de utilização da história e epistemologia no ensino de ciências:

- Determinar os obstáculos epistemológicos;
- Definir os conteúdos do ensino;
- Introduzir a discussão sobre a produção, apropriação e o controle dos conhecimentos em nível social e individual.

Esta abordagem desloca a preocupação do ensino para uma aprendizagem significativa do estudante, ou seja, que lhe permita superar obstáculos na construção de conhecimentos.

Isto significa acabar com a repetição de informações que não podem ser compreendidas pelo aluno e começar a estabelecer estratégias e os conteúdos que permitam ao aluno realizar um trabalho cognitivo e poder superar os obstáculos da aprendizagem (Gagliardi, 1988, p.292).

Gagliardi (1988) reconhece na determinação das representações dos estudantes um valioso instrumento para se obter seus obstáculos epistemológicos, entretanto ressalta que isto *não significa pregar um paralelismo ingênuo entre as concepções dos estudantes e os conceitos historicamente construídos.*

Saltiel e Viennot (1985) apesar de considerarem a existência de conexões, destacam certas reservas sobre a interpretação simplista das relações entre as concepções espontâneas dos estudantes e teorias presentes na História da Ciência. Uma delas refere-se ao fato de não se poder desprezar as diferenças culturais, sociais, políticas, econômicas e tecnológicas que nos separam dos nomes que, a seu tempo, ajudaram a construir o conhecimento que ora buscamos compreender.

Além disso, se de um lado encontramos concepções facilmente comparáveis com teorias históricas (o que parece ser o caso do “ímpetus”) , existem outras noções defendidas por estudantes, como por exemplo, a que relaciona [...] a rotação da Terra, e da atmosfera, como causa da atração gravitacional, que são dificilmente identificáveis com alguma teoria histórica (Sanmarti e Casadella, 1987, p. 56).

Acreditamos que a inserção da História da Ciência no ensino



[...] resulta em um instrumento valioso para os professores: de cara oferece novos horizontes conceituais, ampliando os utilizados para a formação inicial nos casos em que a história da ciência não faz parte do plano de estudos; permite em particular ver como conceitos diferentes dos atuais tem sido articulados de maneira coerente e defendidos por pessoas ilustres, tornando-se difíceis de serem superados. Tudo isto ajuda a não menosprezar as concepções espontâneas dos alunos. Por outro lado ... permite ver como esta se constrói em um processo vivo, em que o raciocínio lógico não é o único que ocupa um papel de destaque (Sanmarti, N. & Casadella, J. 1987, p.56).

Buscar na História da Ciência subsídios para o ensino não significa encarar o aluno como mero reprodutor dos caminhos percorridos pelos cientistas ao longo da história, mas sim reconhecer na ciência um processo de construção que encontrou inúmeros obstáculos em seu desenvolvimento, tentando aproveitar essa contribuição na elaboração de atividades que tornem o ensino mais coerente, permitindo ao indivíduo explicitar e compreender suas crenças.

Discutimos até aqui alguns argumentos que corroboram a utilização da História da Ciência no ensino para:

- a) Proporcionar uma visão mais adequada de ciência enquanto processo de construção;

- b) Servir como base de elementos de reflexão na definição de temas fundamentais;
- c) Revelar os obstáculos epistemológicos através da semelhança entre concepções alternativas e concepções relativas a teorias científicas do passado, quando possível.



## 4

### A EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE MUNDO E O CONCEITO DE ATRAÇÃO GRAVITACIONAL ATRAVÉS DA HISTÓRIA.

#### 4.1 - Introdução.

Neste capítulo pretendemos levantar aspectos históricos que consideramos importantes para subsidiar a construção de atividades de ensino. Assim, não se pretende fazer uma análise exaustiva sobre o tema *atração gravitacional*.

Nussenzveig (1997) assinala que a evolução da gravitação sempre esteve diretamente relacionado à história da astronomia, já que, como é a mais fraca das quatro interações fundamentais conhecidas atualmente (gravitacionais, eletromagnéticas, fracas e fortes), a força gravitacional só se tornava claramente perceptível em escala astronômica.

Isto justifica a necessidade de um estudo mais profundo dos sistemas de mundo propostos por homens que, a seu tempo, procuraram compreender e explicar o “funcionamento” do universo. Nesta busca veremos que o desenvolvimento do tema se confunde com o desenvolvimento da mecânica.

A fim de compreendermos a ciência e seu desenvolvimento atual somos forçados a olhar para o passado e buscar suas origens.

Nossa análise tem início com a seguinte questão: em que momento da História, a Física (num sentido mais racional de ciência) passou a ocupar, de maneira intrigante, as mentes de nossos antepassados?

Schurmann (1945, p.3) não considera necessário para a História da Física o estudo da civilização oriental anterior à grega. Toda a produção precedente poderia ser chamada de pré-história para a ciência em geral e para a Física em particular, devido à dificuldade em separar o que é verdadeiro e racional do que é falso e incoerente.<sup>1</sup>

Uma ciência completamente útil e racional pode surgir somente onde existir alguma esperança de um entendimento suficiente do funcionamento interno de parte do meio ambiente para ser capaz de manipulá-lo em favor da humanidade (Bernal, 1965, v.1, p. 79).

A Física nasce na Grécia em seu sentido amplo de ciência, da qual nossa própria ciência contemporânea é derivada.

O caráter único do pensamento e ação gregos reside no aspecto de suas vidas que temos chamado de modo científico. Com isso não quero dizer simplesmente o conhecimento ou prática da ciência mas a capacidade de

---

<sup>1</sup>. Bernal (1965) salienta entretanto, que não se pode desconsiderar o conhecimento desenvolvido anteriormente por babilônios e egípcios que conheciam e previam eclipses com certa exatidão, dividiam o ano em doze meses, o mês em trinta dias e o dia em vinte e quatro horas. Atribuía-mos os fenômenos das estações e a sucessão de dias e noites ao movimento do Sol em torno da Terra (centro do universo). Além disso possuíam uma aritmética e um sistema métrico elaborados.

separar o real e verificável de afirmações tradicionais e emocionais. Neste modo característico nós podemos distinguir dois aspectos: o da racionalidade e o do realismo; ou seja, a habilidade em sustentar por argumento e de apelar para a experiência comum (Bernal, 1965, v.1, p.161).

A civilização grega foi a única a ter contato com o conhecimento desenvolvido por egípcios e babilônios e foi responsável por transformá-lo em algo mais simples, racional e abstrato. Aliás, são estas as características que diferenciam sua produção das demais existentes até então.

Bernal (1965, p.164) assinala que os textos gregos trazem argumentos baseados em princípios gerais, ao contrário dos exemplos extraídos de problemas particulares referentes à técnica ou administração como os encontrados em textos egípcios e mesopotâmios.

A crença em que o universo é racional, e que seus detalhes podem ser deduzidos a partir de princípios por pura lógica, certamente serviu no início da ciência grega para liberar o homem de superstições (Bernal, 1965, p. 165).

Nossa preocupação com o estudo de alguns aspectos do pensamento grego, prende-se ao fato de que constituíram a base para o estabelecimento do paradigma aristotélico-ptolomaico e que, o nascimento da mecânica no século XVII foi o resultado de um trabalho que buscava sua superação.

Compreender os diferentes modelos que foram propostos para expressar diferentes visões de mundo é de fundamental importância, pois a Física que os permeava teve necessidade de se ajustar. Cohen (1967) ressalta que a Física Aristotélica era conveniente para explicar fenômenos em uma Terra em repouso, no sistema geocêntrico. Porém, a partir de Copérnico, quando o sistema heliocêntrico começou (lentamente) a ganhar força, surgiu a necessidade de uma nova física que pudesse explicar o movimento dos corpos em uma Terra que “deixava” de ocupar o centro do universo e “adquiria” movimento.

Tais assuntos serão tratados posteriormente com detalhes, buscando evidenciar os pontos de ruptura que estão presentes no avanço da mecânica, e particularmente no desenvolvimento da noção de gravitação.

Evidenciar os modelos históricos, o contexto em que foram eleitos (ou não) paradigmas, seu poder explanatório e suas limitações é o objetivo deste capítulo.

#### **4.2 – Alguns exemplos das primeiras tentativas de descrição do mundo.**

Antes de concentrar nossos esforços na produção grega, examinaremos brevemente alguns modelos de mundo propostos anteriormente.

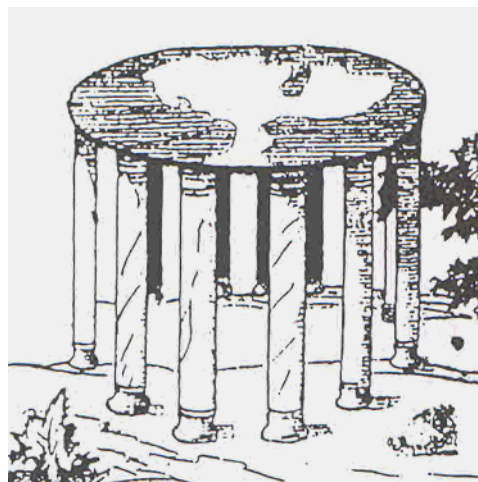
As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 abaixo ilustram os modelos de mundo propostos por chineses e hindus, respectivamente.



**FIGURA 4.1 :** Concepção chinesa de mundo: Terra inclinada justificaria o fato de os rios correrem em uma determinada direção. O céu é representado por um grande manto (Tomiliné, 1985, p. 23)



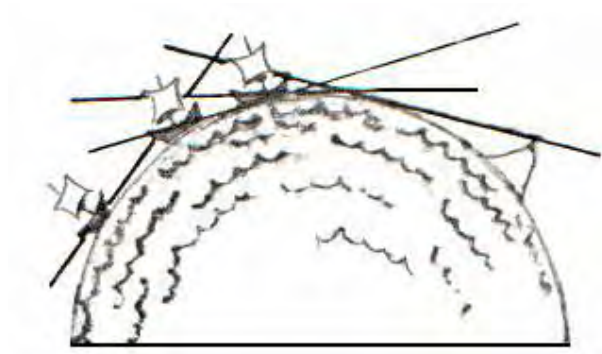
**FIGURA 4.2:** A Terra para os hindus constituía-se de um enorme disco plano, em cujo centro estava o Monte Meru, ao redor do qual giravam o Sol, a Lua e as estrelas (Tomiliné, 1985, p. 21).



**FIGURA 4.3:** Outra concepção hindu: Terra plana sustentada por colunas (Lodge, 1960, p.17).



O modelo de mundo proposto pelos fenícios esboça a noção de Terra curva, como a metade de uma maçã em um prato com água. Um outro grande prato azul, virado para baixo e apoiado no primeiro, seria o céu.



**FIGURA 4.4:** Concepção dos fenícios de Terra curva: em suas experiências de navegação perceberam que os cumes dos montes mais elevados eram a primeira coisa a ser avistada como que “emergindo” da água, o que não deveria acontecer no caso de Terra plana (Tomiliné, 1985, p.27).

### 4.3 – Algumas características da civilização grega e o nascimento da ciência

Bernal (1965, v.1) nos fornece um panorama geral dos períodos de desenvolvimento da civilização grega:

<p><b>Jônico.</b> (600 a 480 a.C.)</p>	<p>Este período corresponde ao surgimento da ciência grega em uma região onde a influência das antigas civilizações foi mais sentida: Jônia. Tales de Mileto e Pitágoras estão entre os vários filósofos que buscaram compreender do que era feito o universo.</p>
<p><b>Ateniense</b> (480 a 330 a.C.)</p>	<p>O interesse dos filósofos desloca-se um pouco da explicação do mundo material para a natureza do homem e seus deveres sociais. Este é considerado o ponto alto da sabedoria grega, contando com nomes como Sócrates, Platão e Aristóteles.</p>
<p><b>Helênico ou Alexandrino</b> (330 a 60 a.C.)</p>	<p>Neste período houve um grande desenvolvimento da matemática, mecânica e astronomia, associado a nomes como Euclides, Arquimedes e Hiparco. Para a História da Ciência, esta foi a fase mais importante, quando as ciências exatas começavam a se constituir de um todo coerente.</p>
<p><b>Romano</b> (até o século II d.C.)</p>	<p>Não há nesta fase um destaque para a originalidade. Se merece alguma ênfase é devido ao fato de que se encontra cronologicamente entre a cultura clássica e toda a ciência posterior. Ptolomeu é o destaque do período.</p>

**QUADRO 4.1:** Os períodos da civilização grega (Bernal, 1965).

Uma das grandes preocupações dos filósofos nos primórdios da ciência grega foi o de esclarecer a “natureza” da matéria.

- Tales de Mileto (640 a 550 a. C.), fundador da escola jônica, considerava a água como substância a partir da qual tudo se origina.
- Anaximandro (610 a 547 a. C.), discípulo de Tales, acreditava que todos os aspectos da matéria surgiam de uma substância denominada “apeiron”, que significa “infinito”, “indefinido”.
- Ferécides (600 a 543 a. C.) atribuía à terra a propriedade de gerar as demais substâncias.
- Para Anaximenes (570 a 499 a. C.), o ar, em um sentido amplo e vago, é o princípio de todas as coisas.
- Parmênides (519 a 440 a. C.) considerava o mundo como uma mescla de fogo e terra, de luz e trevas, de calor e frio, de amor e ódio, ou seja, de contrários.
- Heráclito (500 a 440 a. C.) apresenta uma filosofia baseada na presença de qualidades opostas e elegeu o fogo como o elemento inicial de tudo. Mas devemos salientar que, por fogo este filósofo entendia o símbolo do dinamismo, representativo da mudança.
- Empédocles (492 a 432 a.C.) acreditava em quatro elementos primordiais que denominava “raízes”: fogo, terra, ar e água, que submetidos a ação de duas forças: atração e repulsão (amor e ódio) provocavam a composição e decomposição dos corpos.
- Pitágoras de Samos (569 a 490 a. C.) foi o fundador da escola pitagórica cujos seguidores atribuía ao número o poder de governar o mundo.

Os filósofos gregos não buscaram apenas conhecer a matéria prima fundamental que constitui o universo. O movimento dos corpos celestes era outro ponto de interesse e abriu caminho para o desenvolvimento de vários modelos cosmológicos.

A concepção de Terra esférica, introduzida inicialmente pelos pitagóricos, parece ganhar força com Platão (428 a 347 a. C.), que concebe um universo em que os corpos celestes descrevem movimentos circulares com velocidades uniformes. A hegemonia do círculo na descrição dos eventos astronômicos seguirá incólume até o século XVI, quando Kepler, sem poder ajustar os dados observacionais às trajetórias circulares, desenvolve seu modelo propondo órbitas elípticas para os planetas.

Apesar de a tônica do período ser o modelo geocêntrico, Aristarco de Samos (310 a 264 a.C.) propõe no século III a.C. o primeiro modelo heliocêntrico de que se tem notícia.

Parece surgir com Aristóteles a preocupação com o problema da queda dos corpos, delineando uma “noção gravitacional”, razão pela qual iniciamos nosso relato a partir de seu sistema de mundo e sua física.

#### **4.4 - O universo aristotélico**

Aristóteles (384 a 322 a.C.) foi discípulo de Platão e teve sua obra influenciada pelo trabalho do mestre. Este filósofo foi o primeiro grande

enciclopedista, procurando reunir conhecimentos dispersos, organizá-los e fazer deles uma base sólida e duradoura. Proporcionou grandes contribuições em seus estudos sobre Lógica, Física, Biologia, Astronomia, Teologia, Política e outras áreas.

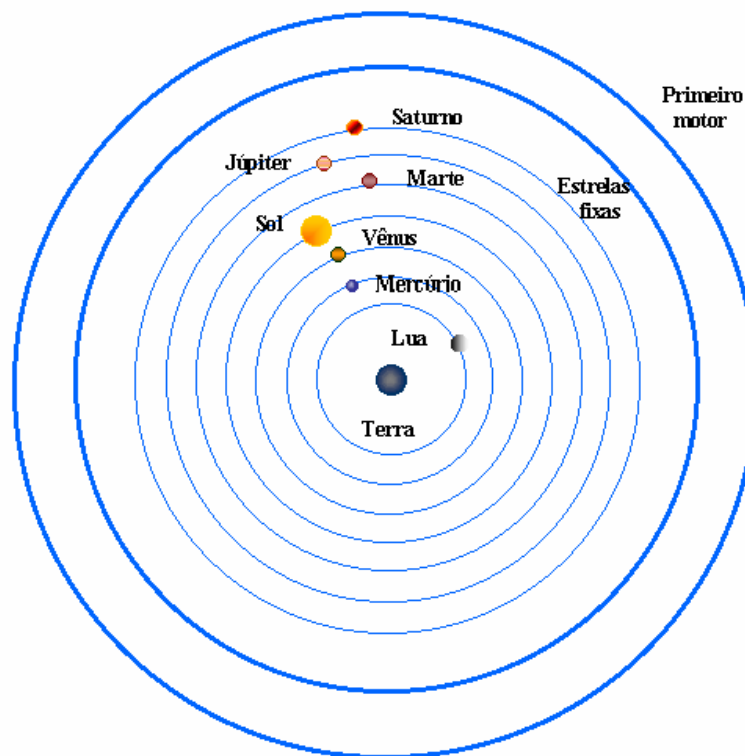
A chave para o entendimento do mundo, segundo Aristóteles, era a física. Mas a física não significava para ele o que significa hoje – as leis do movimento da matéria inanimada. Totalmente ao contrário. A física ou a natureza de qualquer ser era o que tendia a tornar-se e como isto normalmente ocorria. Na verdade o pensamento de Aristóteles, em função de seus conhecimentos médicos e seu interesse em Biologia, interpretava o mundo como se tudo fosse vivo (Bernal, 1965, v.1, p. 200).

Dessa forma, o objetivo do trabalho científico é encontrar a natureza das coisas e este princípio permeia sua obra.

A Terra ocupa o lugar central no universo de Aristóteles, que é dividido em duas regiões: a terrestre e a celeste. O esquema abaixo ilustra as nove esferas clássicas, desde a esfera da Lua até a do Primeiro Motor, mas devemos salientar que cada uma das nove esferas representa um ninho de esferas dentro de esferas.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Tal idéia não era original. Peduzzi (1998) assinala que Eudoxo de Cnico (408 – 355 a. C.) já havia desenvolvido um sistema cosmológico baseado em 27 “esferas homocêntricas” – noção que foi adotada em toda a Grécia. Seu discípulo Calipo procurou melhorar o sistema acrescentando outras 7 esferas, atingindo um total de 34. Nussenzveig (1997) revela que Aristóteles introduz 55 esferas para descrever os movimentos dos corpos celestes. Deve-se contudo destacar que as esferas materiais de Aristóteles possuíam realidade física, ao contrário do sistema de Eudoxo, que se limitou a desenvolver dispositivos meramente geométricos.



**FIGURA 4.5:** Modelo ilustrativo do sistema geocêntrico de Aristóteles. \*

[...] este mundo é único, solitário e completo. É claro que não há nada, nem lugar, nem vácuo, além dos céus. [...] O movimento natural da Terra como um todo, como de todas as suas partes, está dirigido para o centro do universo; esta é a razão de porque ela está no centro [...] assim a Terra e o universo têm o mesmo centro, [...] os corpos pesados movem-se para o centro da Terra apenas incidentalmente, pois seu centro está no centro do universo.[...] Assim, a Terra não se move [...] a razão para essa imobilidade é clara [...] é da natureza da Terra mover-se de todos os lados para o centro (como as observações mostram), assim como a do fogo é mover-se para fora do centro [...] é impossível (portanto) para qualquer porção de Terra mover-se para fora do centro ( naturalmente) sem coação [...] sua forma deve ser

\* Adaptado de <http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/retrograde/aristotle.html> (25/04/1999)

esférica [...] pois, se partes iguais são adicionadas em todas as partes, a extremidade deve estar a uma distância constante do centro. Tal forma só pode ser esférica (Aristóteles, De Caelo. apud. Zanetic, 1995, p.23).

Se a natureza de um corpo determina a direção de seu movimento, pode-se dizer que toda a Terra poderia mover-se em direção a um mesmo lugar: o centro do universo. Isto resulta conseqüentemente na admissão do formato esférico como o mais provável para a Terra. Outro argumento utilizado por Aristóteles para defender a esfericidade de nosso planeta baseava-se no fato de que, durante um eclipse lunar, ao entrar ou sair da sombra da Terra, o formato observado na Lua é sempre circular, o que só poderia ser produzido por um corpo esférico.

Ao admitir a esfericidade da Terra, Aristóteles permanecia sem resposta para a seguinte questão: como viveriam os homens na “parte inferior” do globo? Como conseguiam andar de cabeça para baixo sem cair? A saída adotada por ele e seus discípulos foi admitir que o hemisfério sul da Terra não seria habitado.

#### **4.5 - Aristóteles e o movimento**

Aristóteles formulou seu modelo de universo e sua visão sobre a natureza das coisas através da observação dos acontecimentos terrestres e celestes. A Terra era o retrato de um mundo sujeito a constantes e profundas mudanças, o que o fez associar nosso planeta a um mundo corruptível e

imperfeito. Tudo o que nele existia era fruto da combinação dos quatro elementos: terra, fogo, água e ar e a propriedade de um corpo ser leve ou pesado estava de acordo com a porcentagem dos elementos que o compõe.

Para Aristóteles, cada corpo ocupa uma posição determinada na natureza e se dirige a seu lugar natural sem a necessidade de uma força motriz. No mundo sublunar, o movimento natural pode ser ascendente ou descendente, seguindo uma linha reta que passa pelo centro da Terra. Corpos pesados tendem a procurar o centro da Terra, enquanto os leves tendem a seguir o sentido oposto. Qualquer outro tipo de movimento descrito por um corpo era considerado “violento” ou “forçado” e havia a necessidade de que uma força<sup>3</sup> atuasse para produzi-lo e conservá-lo.

Mas e o que dizer a respeito do movimento dos corpos celestes?  
Como explicá-los?

Na filosofia aristotélica os corpos celestes não seguem os mesmos padrões de movimento dos objetos terrestres, já que não são constituídos dos mesmos quatro elementos, mas sim de uma quinta essência: o éter.

O movimento natural de um corpo composto de éter é circular e uniforme, de tal forma que o movimento descrito pelos corpos celestes é natural.

As idéias de Aristóteles podem ser assim resumidas (Zanetic, 1995; Peduzzi, 1998):

---

<sup>3</sup>. Peduzzi (1998, p.274) chama a atenção para o fato de que a noção aristotélica de **força** não deve ser confundida com o conceito moderno aceito atualmente. Nos trabalhos de Aristóteles surgem expressões como **motor** e **causa** do movimento.



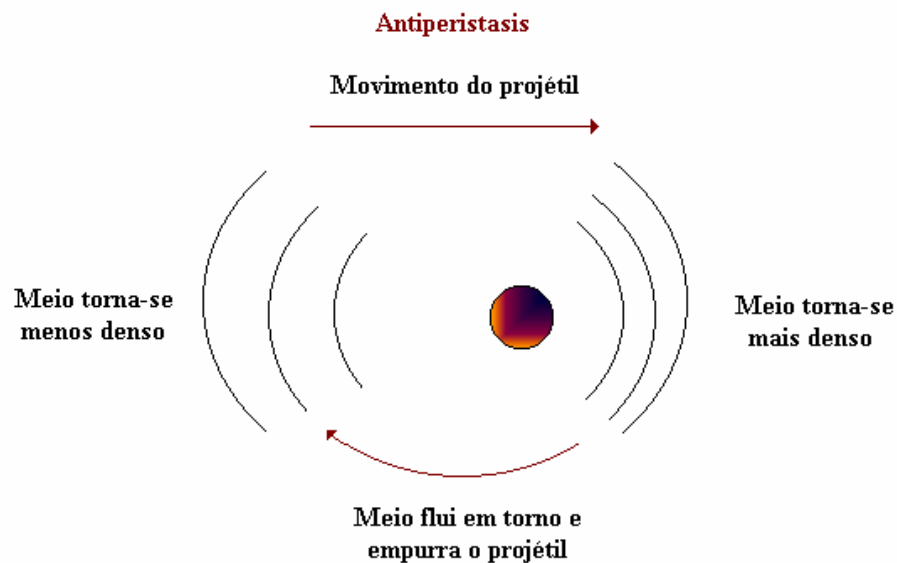
- a) O universo Aristotélico é finito, já que em um espaço infinito não faz sentido falar em movimento natural dirigido para um centro absoluto.
- b) Tal universo está dividido em duas partes: a região superior, ou região das esferas celestes, onde o movimento natural é o circular, e a região interna à órbita da Lua (mundo sublunar), onde o movimento natural é ascendente ou descendente.
- c) Já que o movimento revela a natureza da matéria, os corpos celestes devem ser compostos de um material diferente daqueles que compõem os corpos terrestres. Tal substância imutável, é denominada éter.
- d) Quando os objetos terrestres são dotados de movimento forçado, sua velocidade é proporcional à força. Se esta cessa de atuar, o movimento pára.

$$\mathbf{F} \propto \mathbf{v}$$

- e) Em todo movimento (não natural), há dois fatores primordiais: a força e a resistência. Para que haja movimento:

$$\mathbf{F} > \mathbf{R}$$

- f)  $\mathbf{v} \propto \mathbf{F}/\mathbf{R}$  é freqüentemente conhecida como a lei aristotélica do movimento. (ainda que ele não expressasse seus resultados sob a forma de equações)
- g) Quando um corpo se movimenta, a massa de ar que ele desloca funciona como um agente secundário de movimento (antiperistasis). *O meio tem dupla função na física aristotélica: sustentar o movimento e resistir a ele.* Dessa forma era possível explicar como um projétil permanecia em movimento durante um certo tempo, mesmo sem a ação de uma força propulsora.



**FIGURA 4.6:** Interpretação aristotélica do movimento de um projétil quando abandona o lançador (Peduzzi, 1998, p.278).

- h)** Admitir a existência do vácuo na filosofia aristotélica é aceitar a possibilidade de velocidades infinitas.

Aristóteles não acreditava na necessidade de que uma força agisse causando a queda dos corpos (movimento natural), pois rejeitava a possibilidade de uma ação à distância, assim como Platão.

A concepção aristotélica de universo geocêntrico encontrou adeptos. No século II de nossa era, Ptolomeu, outro grande pensador grego, pôde sistematizar o modelo de mundo proposto, buscando “salvar as aparências”, ou seja, adaptar a teoria aos dados observacionais independentemente de sua realidade física. Surge um sistema poderoso, capaz de explicar, por exemplo, o movimento retrógrado dos planetas. Apesar de sua complexidade e do fato de

representar um modelo essencialmente matemático, – o que gerou muitas críticas daqueles que não concebiam modelos e teorias sem a correspondência com a realidade física - o sistema ptolomaico resistiu até que as idéias heliocentristas revisitadas por Nicolau Copérnico começassem a ganhar espaço a partir do século XV.

Vários foram os motivos que permitiram que o paradigma aristotélico-ptolomaico reinasse durante tanto tempo. Rival (1997) assinala que a ausência de uma demonstração experimental foi o principal obstáculo encontrado pela teoria heliocêntrica, que pregava uma mobilidade terrestre que contrariava os sentidos e não era capaz de detectar a paralaxe estelar<sup>4</sup>. Além disso, o dogma teológico de uma Terra imóvel no centro do universo dificultou (e tornou perigosa) a aceitação do modelo heliocêntrico como realidade física.

#### **4.6 - O modelo de mundo de Ptolomeu**

Claudio Ptolomeu (~ 100 a 170 d.C.), considerado um dos maiores astrônomos da Antigüidade, desenvolveu um sistema que dominou hegemonicamente o cenário astronômico até o aparecimento do sistema copernicano no século XV.

---

<sup>4</sup>. Ver página 94.

Peduzzi (1998) afirma que o “Almagesto” é um tratado matemático que sintetiza as tentativas anteriores de descrição do céu e possui amplo poder preditivo do movimento dos corpos celestes.

O domínio da esfera na descrição dos fenômenos permanecia inabalado neste período, conseqüentemente existiam alguns problemas que não podiam ser resolvidos a partir dos modelos desenvolvidos até então, como por exemplo, o movimento retrógrado dos planetas e sua variação de brilho.

Na tentativa de “salvar as aparências”, artifícios geométricos (tais como o epiciclo e o deferente) introduzidos inicialmente por Hiparco (160 a 124 a.C.) foram aperfeiçoados por Ptolomeu. Koestler (1989) salienta que Ptolomeu completou o trabalho inacabado de Hiparco, sem contudo contribuir com nenhuma idéia de valor teórico.

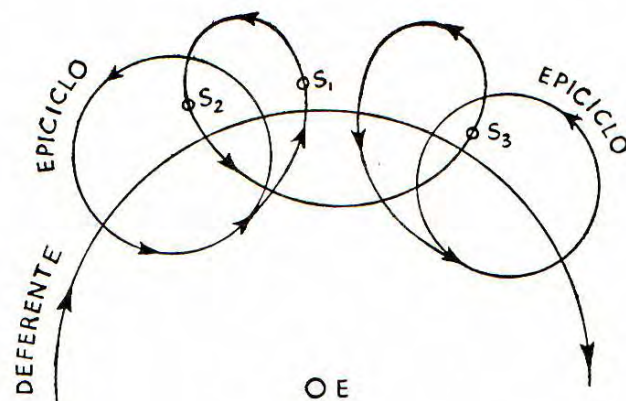
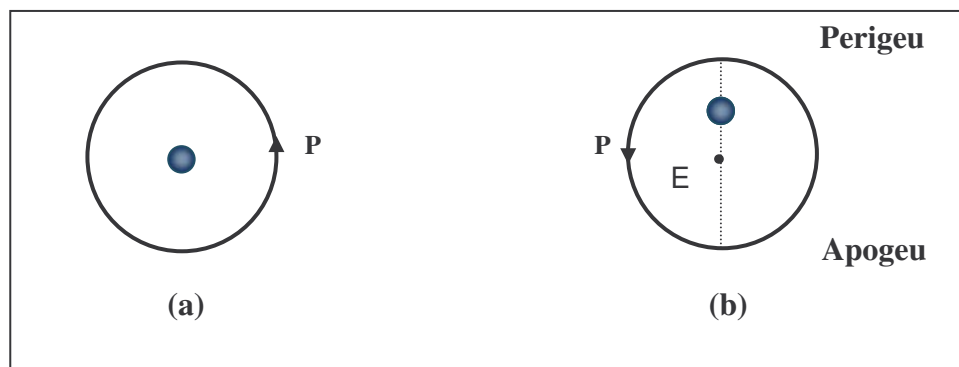


FIGURA 4.7: O sistema epiciclo-deferente (Koestler, 1989, p. 38).

Este arranjo permitia reproduzir o movimento retrógrado dos planetas, entretanto outros artifícios tais como o *excêntrico* e o *equante* foram necessários para explicar os demais fenômenos observados.

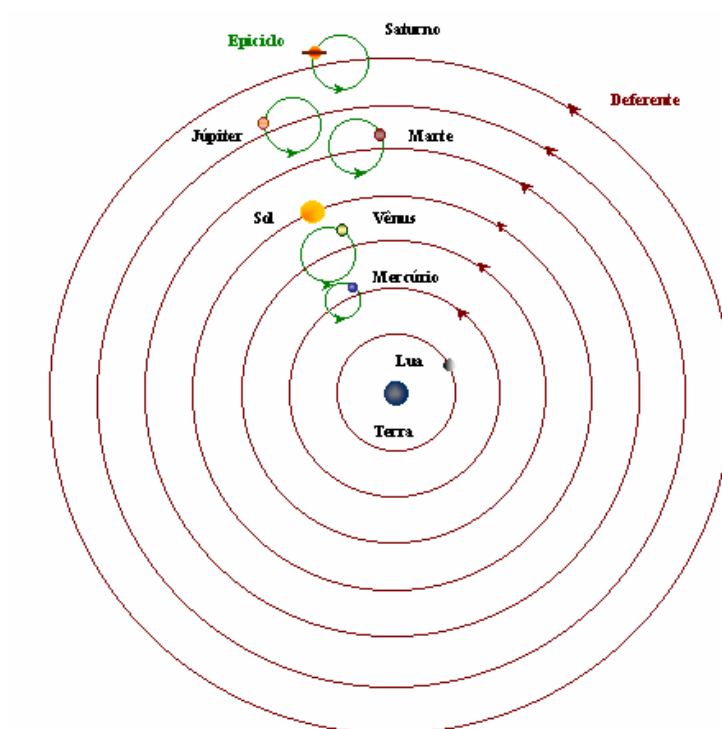
Se o movimento dos planetas fosse descrito a partir de um sistema excêntrico (figura b), para um observador em **E** o planeta **P** não pareceria mover-se com velocidade constante ao longo da trajetória em relação às estrelas fixas (apesar de seu movimento ao longo do círculo ser uniforme). Além disso, neste caso, considerando a Terra representada em **E** e o Sol (ou demais planetas) representado em **P**, haveria períodos em que o Sol ou o planeta estaria mais próximo da Terra, o que explicaria a variação de brilho observada. (Cohen, 1967).



**FIGURA 4.8:** Sistemas homocêntrico (a) e excêntrico (b) (adaptado de Cohen, 1967, p. 33).

A combinação de tais artifícios resultava em um sistema altamente complexo, que apesar das críticas que recebeu, não encontrou durante séculos um adversário à altura. Parece que o próprio Ptolomeu não se preocupou com a realidade física de seu sistema, encarando-o como um “modelo” do universo, capaz de permitir ao astrônomo realizar predições. Cohen (1967) salienta que isto representou o ponto alto do ideal grego.

Embora freqüentemente menos elaborada, esta maneira de encarar a Ciência é muito semelhante à do físico do século XX, cuja ambição é também produzir um modelo que resulta em equações capazes de predizer os resultados da experiência – e muitas vezes ele se vê obrigado a se contentar com equações, na ausência de um “modelo”, que possa ser construído. (Cohen, 1967, p.35).



**FIGURA 4.9:** Diagrama ilustrativo do movimento planetário baseado no sistema Ptolomaico. (adaptado de Fishbane et. al., 1996, p.321)

A cosmologia de Ptolomeu é perfeitamente coerente com a doutrina aristotélica, o que implica que não existe a necessidade de uma nova física para explicar os fenômenos. Três pontos fundamentais estão presentes: 1) todo movimento no céu é circular uniforme; 2) os corpos celestes são constituídos

de um material imutável e 3) a Terra é o centro do universo. Seu modelo conseguia ajustar dados observacionais para os quais o sistema aristotélico permanecia sem respostas. Entretanto, não era simples aceitar que de fato corpos celestes podiam orbitar em torno de pontos geométricos no espaço.

Muito homem de saber não podia crer que um sistema de quarenta ou mais “rodas dentro de rodas” poderia talvez estar rodando no céu, que o mundo fosse tão complicado. Conta-se que Afonso X, rei de Leão e Castela, chamado Afonso o Sábio, que manteve um famoso grupo de astrônomos não podia acreditar que o sistema do universo fosse tão intrincado. Quando a princípio lhe ensinaram o sistema ptolomaico, comentou ele, segundo a lenda “Se o Senhor Todo Poderoso me tivesse consultado antes de começar a criação, eu teria recomendado alguma coisa mais simples” (Cohen, 1967, p.38).

Koestler (1989) assinala que desde o século II da era cristã até o início do século XVII, o *Almagesto* de Ptolomeu continuou a ser uma espécie de Bíblia da astronomia. Neste período, quase não houve progresso e as causas são evidenciadas brevemente pelo autor:

1. Divisão do mundo em duas esferas e a divisão mental que daí resultou;
2. Dogma geocêntrico;
3. Dogma do movimento uniforme em círculos perfeitos;
4. Divórcio entre ciência e matemática;

5. Incapacidade de compreender que enquanto o corpo em repouso tendia a permanecer em repouso, o corpo em movimento tendia a permanecer em movimento.

#### **4.7 - Algumas considerações sobre a física na Idade Média**

Segundo Zanetic (1995), a produção científica dos gregos sofreu um período de estagnação e até retrocesso no período compreendido entre o início da era cristã e o surgimento da mecânica nos séculos XVI e XVII.

A concepção de universo esférico dos gregos era incompatível com a doutrina da Igreja, baseada em uma interpretação literal da Bíblia. Koestler (1989) assinala que a cosmologia deste período volta diretamente aos babilônios e hebreus e é dominada por duas idéias principais: 1) que Terra tem o formato do Santo Tabernáculo e 2) que o firmamento está envolvido por água.

E Deus disse: haja um firmamento no meio das águas, e divida as águas das águas. E Deus fez o firmamento, e dividiu as águas que estavam sob o firmamento das águas que estavam acima do firmamento. E assim se fez (Gênesis I: 6,7).

Um exemplo significativo desta visão de universo aparece no primeiro sistema cosmológico compreensivo da primeira Idade Média. Koestler



(1989) destaca um trecho da *Topographica Christiana* escrita pelo monge Cosmas no século VI.

O Santo Tabernáculo, descrito no Êxodo, era retangular e duas vezes mais longo do que largo; logo, a terra possui a mesma forma, e está situada no sentido do comprimento de Leste a Oeste, no fundo do universo. Circunda-a o oceano, como a mesa de pão, no ritual judaico, está rodeada pela franja ondulada; e o oceano está rodeado por outra terra, o lugar do Paraíso, e habitação do homem até o dia em que Noé atravessou o oceano, estando agora desabitada. Das extremidades dessa terra exterior e deserta se erguem quatro planos verticais, que são as paredes do universo. O teto é um semicilindro repousando sobre as paredes do norte e do sul, o que dá ao universo o aspecto de barraca ou de baú de viagem com uma tampa curva. Contudo, o piso, isto é, a terra, não é chato; pelo contrário, inclina-se de noroeste a sudeste, pois está escrito no Eclesiastes I, 5 que “o sol desce e volta ao lugar onde nasceu”. Consequentemente, os rios, como o Eufrates e o Tigre, que correm para o sul, possuem corrente mais rápida que o Nilo que corre “para cima”; e os barcos navegam mais depressa para o sul e leste do que os que devem “subir” para o norte e o oeste, sendo estes últimos chamados “indolentes”. As estrelas são levadas por anjos, pelo espaço abaixo do teto do universo, e ficam ocultas quando passam atrás da parte norte da Terra, encimada por gigantesca montanha cônica, a qual oculta o sol da noite, sendo o sol muito menor que a terra. (Topographica Christiana. apud. Koestler, 1989, p. 57).

Importantes obras de filósofos gregos não foram traduzidas para o latim e muitas se perderam, por exemplo, quando em 640 d.C. com a invasão árabe, a famosa biblioteca de Alexandria foi incendiada. (Schurmann, 1945).

A despeito de toda a produção anterior, nessa época, para muitos pensadores, a Terra “volta a ser plana”.

Apesar disso, nem só de retrocessos vive este período. Alguns pensadores passam a questionar a dinâmica aristotélica, dando início à construção de uma explicação sobre o movimento baseada na admissão de uma **força impressa** ao corpo. Este aspecto merece destaque, uma vez que as pesquisas mostram que muitos de nossos alunos possuem concepções acerca do movimento, muito semelhantes às aquelas desenvolvidas nesse período histórico.

Parece surgir com Hiparco (século II a.C.) a crítica à concepção aristotélica de movimento. Para este astrônomo, quando um corpo abandona o lançador, continua se movendo graças à ação de uma força que lhe foi transmitida e se esvai no decorrer de sua trajetória.

O mesmo tipo de argumento é utilizado por João Filopono (século VI d.C) que atribui ao meio apenas a função de resistir ao movimento. Em consequência, nessa abordagem existe a possibilidade de movimento no vácuo, já que o ar não mais possui o caráter de “propulsor”.

A “lei de movimento” de Filopono, indica que a velocidade de deslocamento de um corpo é proporcional à diferença entre a força e a resistência.

$$V \propto (F - R)$$

Somente a partir dos séculos VIII e IX é que as obras gregas passam a ser redescobertas, e os clérigos começam a ter permissão para estudá-las. Foi com São Tomas de Aquino no século XIII, que o sistema aristotélico ganhou força e passou de conhecimento proibido à condição de dogma da Igreja.

A física aristotélica, entretanto, não escapou das críticas e a física do *ímpetus* ganhou novos articuladores.

João Buridan (1300 a 1358) propõe um *ímpetus* que difere da noção de Filopono e Hiparco no sentido em que é permanente e só pode ser dissipado por agentes externos. Assim, este pensador descarta a possibilidade do vácuo, pois isso implicaria em um movimento infinito.

Nicolau de Cusa (1401 a 1464) utiliza a idéia de *ímpetus* circular, proposta por Buridan, para explicar o movimento das esferas celestes.

À época do renascimento, George Peurbach (1423 a 1461) e seu discípulo Johannes Regiomontanus (1436 a 1476) iniciaram a reforma da astronomia na Europa no século XV. Eles tinham como objetivo eliminar os erros presentes em textos astronômicos, especialmente na obra de Ptolomeu, através do estudo profundo dos originais. As traduções latinas desta obra incorporavam comentários e interpretações árabes que estavam mescladas ao conteúdo original.

Peduzzi (1998) revela que este trabalho elevou o nível da astronomia teórica na Europa e permitiu que tal conhecimento se tornasse mais claro e, conseqüentemente pudesse ser alvo de críticos que não aceitavam os dispositivos geométricos propostos por Ptolomeu.

#### 4.8 – O heliocentrismo de Copérnico

A primeira apresentação do sistema copernicano estava contida em um manuscrito, o *Commentariolus* e apresentava sete axiomas que resumiam as hipóteses fundamentais (Cf. Koestler, 1989):

1. Os corpos celestes não se movem todos em torno do mesmo centro;
2. A Terra não é o centro do universo, e sim apenas da órbita lunar e da gravidade terrestre;
3. O Sol é o centro do sistema planetário e, portanto, do universo;
4. Comparada à distância das estrelas fixas, a distância da Terra ao Sol é pequena;
5. A revolução diária aparente do firmamento se deve à rotação da Terra sobre seu próprio eixo;
6. O movimento anual aparente do Sol se deve ao fato de que a Terra, como os demais planetas, gira em volta do Sol e
7. Que as “estações e retrogressões” aparentes dos planetas se devem à mesma causa.

O número de círculos necessários para a descrição dos fenômenos celestes, de acordo com o autor, fora reduzido para 34. Nesta ocasião, Copérnico não apresentou demonstrações matemáticas, afirmando que as estava reservando para sua obra maior.

Entretanto o Livro das Revoluções ainda teria que esperar muito para ser publicado. A demora e as recusas de Copérnico não eram devidas ao temor de uma perseguição religiosa<sup>5</sup>. Se durante anos relutou em tornar pública suas idéias era porque temia não ser capaz de prová-las e defendê-las.

Copérnico (1473 – 1543) teve no jovem discípulo Jorge Joaquim Rético (1514 – 1576) seu grande incentivador, responsável por minar aos poucos as defesas do mestre e garantir a publicação de sua grande obra.

Como primeira tentativa, Rético propôs escrever uma síntese do manuscrito (*Narratio prima*) sem que o nome de Copérnico fosse mencionado. Anos mais tarde, ele mesmo supervisionou a impressão do *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, publicado no ano da morte de Copérnico.

Impossibilitado de acompanhar os trabalhos até o fim, Rético deixa a cargo de Andreas Osiander (1498 – 1552) a supervisão da impressão. Assim que assume, Osiander escreve um prefácio anônimo, justificando a proposta do livro como sendo apenas uma hipótese matemática. Koestler (1989) revela que tal atitude representou um dos maiores escândalos da História da Ciência e contribuiu para adiar as discussões sobre a obra de Copérnico.

#### AO LEITOR

#### SOBRE AS HIPÓTESES DESTES TRABALHOS

Visto que a novidade das hipóteses deste trabalho já foi amplamente divulgada, não me resta dúvida de que alguns sábios se ofenderam bastante

---

<sup>5</sup>. Vale lembrar que esta obra só foi parar no Índice da Igreja Católica 73 anos após ter sido publicada.

por declarar o livro que a terra se move e que o sol está em repouso, no centro do universo; acreditarão eles, com certeza, que as artes liberais, há muito estabelecidas em base correta, não devem ser atiradas à confusão. Mas se houverem por bem examinar cuidadosamente o assunto, verão que o autor deste trabalho nada fez que merecesse censura. Cabe ao astrônomo compor a história dos movimentos celestes mediante observação atenta e hábil. Depois, voltando-se para as causas desses movimentos ou hipóteses sobre eles, deve conceber e planejar, uma vez que lhe não é dado de modo nenhum atingir as verdadeiras causas, hipóteses que, aceitas, permitem sejam os movimentos calculados corretamente com os princípios da geometria, tanto para o futuro como para o passado. O autor cumpriu perfeitamente os dois deveres, pois tais hipóteses não têm de ser verdadeiras nem tampouco prováveis; bastará que forneça um cálculo coerente com as observações. Talvez haja alguém, que, ignorando a geometria e a óptica, considere provável o epiciclo de Vênus, ou julgue ser ele o motivo pelo qual Vênus umas vezes precede e outras segue o sol em quarenta graus e até mais. Há quem não perceba, com tal hipótese, que necessariamente se segue parecer o diâmetro do planeta no perigeu mais de quatro vezes, e o corpo do planeta mais de dezesseis vezes, maior do que no apogeu, resultado contrariado pela experiência de todos os tempos? **Neste estudo há outros absurdos não menos importantes** (grifo meu), que não apresentaremos no momento, visto ser evidente que as causas dos movimentos desiguais aparentes são total e simplesmente desconhecidas dessa arte. E se a mente imagina outras causas, como realmente muitas o são, não surgem para convencer quem quer que seja de que são verdadeiras, mas apenas para dar uma base correta de cálculo. Ora, quando, uma vez ou outra, se oferecem para o mesmo movimento diferentes hipóteses (como a excentricidade e um epiciclo para o movimento do sol), o astrônomo aceitará, acima das outras, a mais fácil de aprender. O filósofo talvez prefira indagar

da aparência da verdade. Mas nenhum deles compreenderá nem afirmará nada de certo, salvo se lho tiverem revelado. Portanto, permitamos que essas novas hipóteses se tornem conhecidas com as velhas, que já não são prováveis; façamos assim, sobretudo porque as novas hipóteses são admiráveis e também simples e com elas trazem um enorme tesouro de habilíssimas observações. No que tange a hipóteses, não espere ninguém nada de certo da astronomia, que o não pode dar, a não ser que aceite como verdade idéias concebidas para outro fim, e, depois de tal estudo, fique mais tolo do que antes. Adeus (Texto completo do prefácio de Osiander. apud. Koestler, 1989, p. 394-5).

Cohen (1967) destaca que o sistema copernicano tinha muitas semelhanças com o sistema ptolomaico, utilizando inclusive epiciclos e deferentes na descrição dos fenômenos<sup>6</sup>. Tal necessidade surgiu uma vez que Copérnico não questionou a validade do movimento circular na trajetória dos corpos celestes, e assim alguns detalhes do movimento planetário não podiam ser explicados sem o auxílio de tais artifícios.

A grande inovação de Copérnico foi atribuir à Terra a mesma posição hierárquica ocupada pelos demais planetas, reservando ao Sol o centro do universo.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> O anúncio preliminar de Copérnico no *Commentariolus* assinalava a necessidade de 34 esferas para descrever os movimentos celestes. Entretanto, no *De revolutionibus*, o autor viu-se obrigado a utilizar 48 esferas. Contrariando a crença popular, o sistema copernicano não reduziu o número de círculos. O modelo ptolomaico revisado por Peurbach no século quinze exigia 40 círculos e não 80, como afirmava Copérnico. (Cf. Koestler, 1989).

<sup>7</sup> O centro das órbitas dos planetas no sistema copernicano era na verdade o centro da órbita da Terra ou um “Sol médio”. (Cohen, 1967, p. 137). Para Koestler (1989), o sistema copernicano é “vácuocêntrico”.

Entretanto, como afirma Martins (1994), não foi capaz de desenvolver a física que sua proposta de modelo heliocêntrico exigia, *e algumas de suas explicações sobre o movimento ainda são impregnadas com a noção aristotélica de lugar natural.*

Koyré (1979) assinala que apesar do mundo copernicano ser cerca de 2000 vezes maior comparado com o da Idade Média, ele ainda é finito e conserva as esferas celestes, inclusive a esfera das estrelas fixas que o delimita.

A primeira e mais alta de todas é a esfera das estrelas fixas, que tudo contém e se contém a si própria; e que, por isso mesmo, é imóvel. É seguramente o lugar do Universo a que se referem o movimento e a posição de todos os outros astros. Porque, se alguns pensam que ela também se move de algum modo, nós pelo contrário [não o admitimos] e, quando da dedução do movimento terrestre, mostraremos a causa pela qual ele aparece assim. Segue o primeiro dos planetas, Saturno, que completa o seu circuito em trinta anos. Depois dele, Júpiter, que completa a sua revolução em doze anos. Em seguida, Marte fá-la em dois anos. O quarto na série é ocupado pela revolução anual da orbe, na qual está contida a Terra com a orbe da lua. Em quinto lugar, Vênus, que regressa em nove meses. Enfim, o sexto lugar é ocupado por Mercúrio, que volta num espaço de oitenta dias. E no meio de todos repousa o Sol. Com efeito, neste tempo esplêndido, quem colocaria então esta luminária num lugar diferente, ou melhor, do que aquele de onde ele pode iluminar tudo ao mesmo tempo? Ora, na verdade, não foi impropriamente que alguns lhe chamaram a pupila do mundo, outros Espírito [do mundo], outros enfim o seu Reitor (Copérnico, *De revolutionibus orbium coelestium*, apud. Koyré, 1979, p.39).





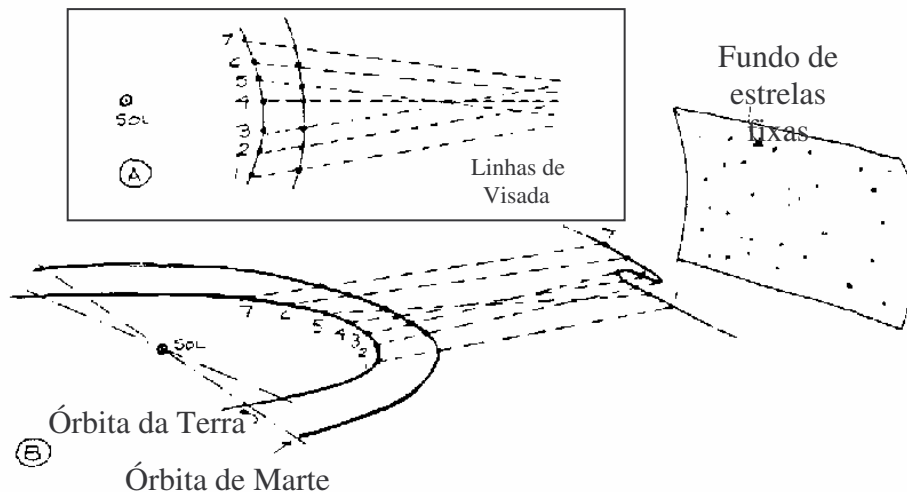
FIGURA 4.10: O universo copernicano \*

#### 4.9 - Problemas resolvidos pelo heliocentrismo

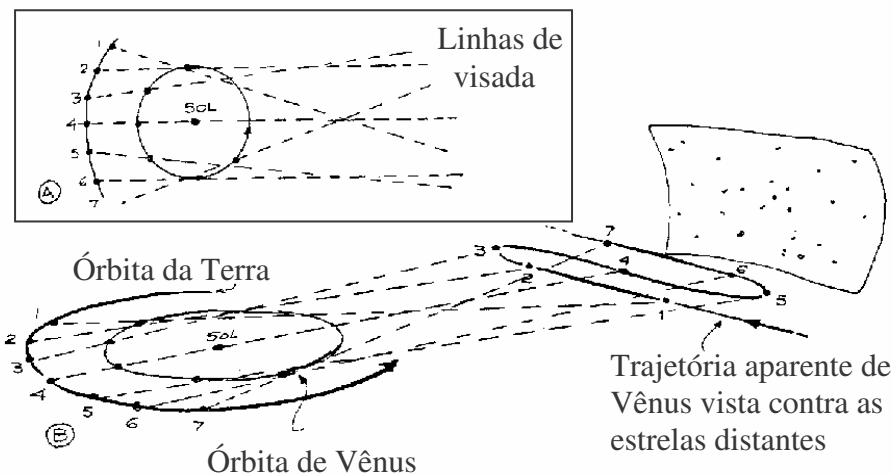
- a) A nova abordagem permitiu à Copérnico explicar o movimento aparente da Lua, Sol, estrelas e planetas a partir do giro diário da Terra em torno de seu eixo.

\* Extraído de [http://es.rice.edu:80/ES/humsoc/Galileo/Things/copernican\\_system.html](http://es.rice.edu:80/ES/humsoc/Galileo/Things/copernican_system.html) (04/03/1999)

b) O movimento retrógrado dos planetas era facilmente explicado, pois como cada planeta possui um período de revolução diferente - que será maior quanto mais distante estiver do Sol – o movimento retrógrado torna-se um movimento aparente causado pela diferença nas velocidades e, como isso ocorre quando o planeta está mais próximo da Terra, seu brilho é mais intenso.



**FIGURA 4.11:** No sistema de Copérnico, o movimento retrógrado aparente dos planetas tem uma explicação simples: é uma questão de velocidades relativas. Aqui as linhas de visada mostram porque um planeta superior, mais afastado do Sol do que a Terra, parece inverter o sentido do seu movimento. Ele viaja ao redor do Sol mais lentamente que a Terra (Figura e texto extraídos de Cohen, 1967, p. 43).



**FIGURA 4.12:** O movimento retrógrado de um planeta inferior, cuja órbita se acha entre a Terra e o Sol, é também prontamente explicado com as linhas de visada. Vênus viaja ao redor do Sol mais rapidamente que a Terra. (Figura e texto extraídos de Cohen, 1967, p. 44).

c) O sistema copernicano permite obter a seqüência correta do afastamento dos planetas a partir do Sol.

Apesar de representar um forte concorrente ao geocentrismo ptolomaico, o heliocentrismo de Copérnico ainda sofreria fortes objeções.

- 1) A mobilidade de nosso planeta contraria os sentidos;
- 2) A física aristotélica era um sistema completo que foi desenvolvido para um universo cujo centro – a Terra – estivesse em repouso. Isto significa que aceitar o sistema copernicano implicaria em romper definitivamente com a física aristotélica, *uma nova física seria necessária para explicar fenômenos em uma Terra em movimento.*

A Terra dá uma volta em torno do seu eixo uma vez a cada vinte e quatro horas. No equador, a circunferência da Terra é de aproximadamente 40.212 quilômetros e, assim, a velocidade de rotação de um observador no equador da Terra é de 1676 quilômetros por hora, isto é uma velocidade linear de cerca de 465 metros por segundo. Imagine-se a seguinte experiência: Uma pedra é atirada em linha reta para cima, no ar. O tempo durante o qual ela se eleva é de, digamos, dois segundos, enquanto igual tempo é gasto para a descida. Durante quatro segundos a rotação da Terra terá movido o ponto do qual o objeto foi lançado a uma distância de uns 1 800 metros. Mas a pedra não atinge a Terra a essa distância do ponto inicial; ela atinge a Terra muito próximo do ponto do qual foi arremessada. Perguntamo-nos: como pode isto ser possível? Como pode estar a Terra girando com esta respeitável velocidade de 1676 quilômetros por hora, e todavia não ouvirmos o vento assobiar à medida que a Terra deixa o ar para trás? Ou, para aceitar uma das outras objeções clássicas à idéia de uma Terra em movimento, consideremos um pássaro empoleirado no galho de uma árvore. O pássaro vê um verme na Terra e deixa a árvore. Nesse ínterim, a Terra vai girando nessa veloz marcha, e o pássaro, embora batendo as asas tão fortemente quanto possa, nunca atingirá velocidade suficiente para alcançar o verme, a menos que esteja este localizado a oeste. Mas é um fato confirmado que os pássaros voam das árvores à terra e comem vermes que se acham tanto a leste como a oeste (Cohen, 1967, p.9).

Além disso, aceitar que a Terra é apenas mais um planeta significava eliminar a divisão entre céu e terra, perfeição e corrupção.

- 3) O movimento de rotação, de acordo com os críticos seria responsável pela destruição de nosso planeta, expulsando inclusive todos os corpos de sua superfície, devido à ação do que mais tarde viria a ser denominado de ‘força centrífuga’.
- 4) Um forte argumento contra o heliocentrismo era a ausência de paralaxe estelar. Se a Terra orbita em torno do Sol, por que não se podem observar mudanças na posição relativa das estrelas? Tal efeito só seria facilmente observado para objetos próximos e naquele momento era inconcebível que as estrelas, mesmo as que estão mais próximas de nosso planeta, estivessem tão distantes que impedissem a observação de tal efeito a olho nu.

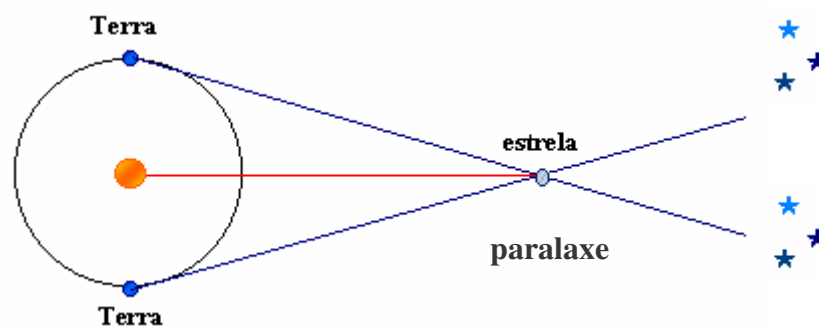


FIGURA 4.13: Paralaxe anual de uma estrela (Adaptado de Rival, 1997, p. 70).

- 5) O sistema heliocêntrico ainda esbarrava em questões de ordem teológica. Entretanto não foi este fato que motivou a demora na publicação do sistema copernicano, visto que a Inquisição só é instaurada com o Concílio de Trento (1545 – 1563) e o *De Revolutionibus Orbium Coelestium* só foi proibido pela igreja em 1616 (Cf. Peduzzi, 1998).

O rompimento com as idéias aristotélicas sobre o movimento que dominavam o cenário científico começava a ser delineado. Até então, a explicação para o movimento dos corpos contava com a Terra estacionária no centro do universo, que seria o lugar natural dos graves.

Copérnico explica a queda de um corpo em direção ao solo como sendo ainda um movimento natural, fruto de uma propriedade denominada gravidade que não é uma característica particular da Terra.

Parece-me que a gravidade não passa de uma inclinação natural concedida às partes dos corpos pelo Criador a fim de combinar as partes no formato de uma esfera e contribuir assim, para a sua unidade e integridade. E podemos crer que tal propriedade está presente também no Sol, na Lua e nos planetas, de modo que com isso retêm o seu formato esférico não obstante a variedade de caminhos (Koestler, 1989, p.131).

A partir das idéias de Copérnico, e posteriormente, com o trabalho dos articuladores do paradigma, uma nova física começa a ser gestada.

#### **4.10 - A articulação do novo paradigma: o início de um longo caminho**

Como vimos, durante a Idade Média a filosofia aristotélica foi redescoberta na Europa e adicionada à teologia medieval. O conhecimento Grego de origem pagã inicialmente perseguido, transformou-se em dogma da igreja. A

superação do paradigma aristotélico-ptolomaico não representava apenas um problema científico, mas também religioso.

Após a publicação do *De revolutionibus orbitum coelestium* – que permaneceu esquecido até o final do século XVI – outros trabalhos ajudaram a edificar o heliocentrismo, provocando a revolução (gradual) que substituiu definitivamente as idéias aristotélicas.

Thomas Digges (1545 a 1595), seguidor das idéias copernicanas, em sua obra *A Perfit Description of the Coelestiall Orbes* (1576) apresenta uma tradução em inglês de parte do *De revolutionibus orbitum coelestium*. Digges mergulha o sistema copernicano em um mar de infinitas estrelas.

[...] foi o primeiro copernicano que substituiu a concepção do seu mestre, a de um mundo fechado, pela de um mundo aberto, e que na sua descrição, onde oferece uma tradução bastante boa, ainda que um pouco livre, da parte cosmológica do *De revolutionibus orbitum coelestium*, aí estabeleça algumas associações admiráveis. Assim, ao falar da orbe de Saturno, ele informa-nos que esta orbe é “de todas as outras a mais próxima dessa orbe infinita imóvel ornada de luzes inumeráveis” que ele substitui à esfera das estrelas fixas de Copérnico. Seguidamente, substitui o diagrama do mundo de Copérnico por um outro diagrama, no qual as estrelas estão colocadas sobre toda a página, acima e abaixo da linha pela qual Copérnico representava a *ultima sphaera mundi* (Koyré, 1979, p.42).

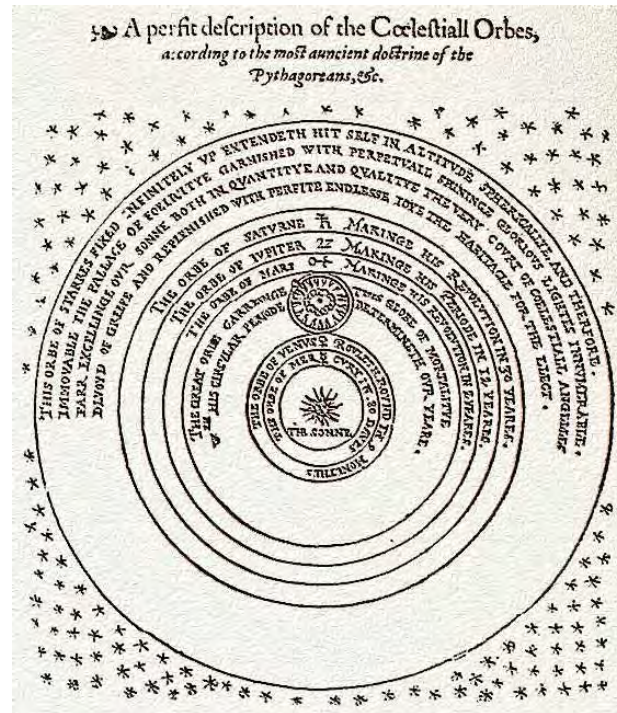


FIGURA 4.14: O universo de Thomas Digges \*

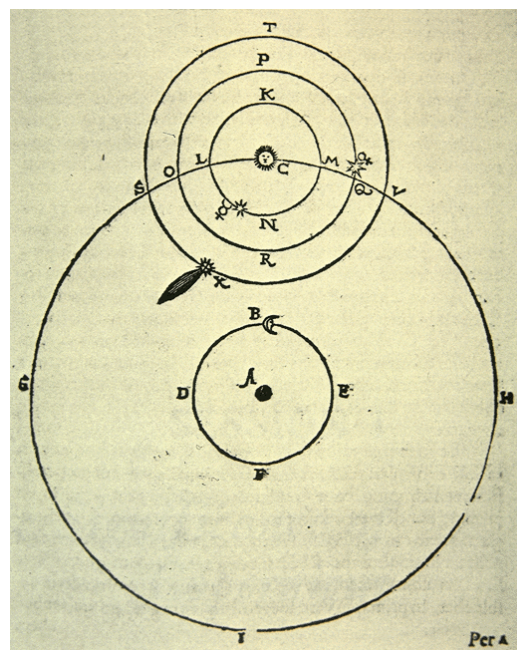
Outra figura importante neste processo foi o dinamarquês Tycho Brahe (1546 a 1601), que apesar de não aceitar o heliocentrismo acabou contribuindo para o seu estabelecimento. Com o apoio do rei Frederico II, Tycho montou na ilha de Hveen seu observatório de Uraniborg\*\* onde obteve as medidas astronômicas mais precisas sem o auxílio do telescópio. Seus instrumentos (de grandes proporções) permitiram-lhe determinar detalhes do movimento planetário.

\* Extraído de [http://es.rice.edu:80/ES/humsoc/Galileo/Things/copernican\\_system.html](http://es.rice.edu:80/ES/humsoc/Galileo/Things/copernican_system.html) (04/03/1999).

\*\* “a aldeia do céu”. (Maury, 1990, p. 39)



O sistema de mundo proposto por Tycho é híbrido, buscando combinar as vantagens dos sistemas geo e heliocêntrico. O resultado é um modelo em que o Sol e a Lua movem-se em torno da Terra, que também é o centro da esfera das estrelas fixas. Porém os demais planetas conhecidos (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) orbitam em torno do Sol.



**FIGURA 4.15:** O universo de Tycho Brahe \*

Os dados obtidos a partir das observações de Marte foram especialmente importantes pois possibilitaram a Kepler desenvolver sua formulação das leis do movimento planetário e romper com a hegemonia do círculo na descrição dos movimentos.

---

\* Extraído de [http://es.rice.edu:80/ES/humsoc/Galileo/Things/copernican\\_system.html](http://es.rice.edu:80/ES/humsoc/Galileo/Things/copernican_system.html) (05/03/1999).

#### 4.11 – As elipses de Kepler

Johannes Kepler (1571 – 1630) foi o responsável pelo fim da separação entre a física e a astronomia. Até então os modelos cosmológicos possuíam um caráter meramente descritivo, sem que houvesse um questionamento sobre as causas físicas dos eventos.

Como um pitagórico, Kepler acreditava em um universo organizado e regido por uma harmonia matemática. Em seu livro *Mysterium Cosmographicum* (1596) ele apresenta um modelo que pretendia explicar as distâncias planetárias a partir dos sólidos regulares perfeitos. À Kepler parecia claro: só existiam 6 planetas (até então conhecidos: Terra, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) pois eram em número de cinco os sólidos (tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro) capazes de descrever as distâncias entre eles.

Em sua argumentação, Kepler baseou-se na suposição de que a órbita de um determinado planeta circunscreve um sólido, que por sua vez, inscreve outra órbita planetária.



**FIGURA 4.16:** O modelo de Kepler para explicar as distâncias relativas dos planetas ao Sol no sistema copernicano.\*

Devido ao talento matemático demonstrado neste trabalho, Kepler foi convidado por Tycho Brahe para trabalhar em seu observatório em Uraniemburgo em 1600, recebendo a incumbência de determinar a órbita de Marte. Com a morte de Tycho em 1601, Kepler herda\* os dados observacionais mais precisos já realizados sem o auxílio do telescópio.

Peduzzi (1998) assinala que Kepler era copernicano, o que implica que não foi uma tarefa das mais simples atender o pedido de Tycho para

\* Extraído de: <http://es.rice.edu:80/ES/humsoc/Galileo/People/kepler.html> (23/04/1999).

\* “Confesso que quando Tycho morreu me vali imediatamente da ausência, ou falta de circunspeção, dos herdeiros, para apoderar-me das observações, ou talvez para usurpá-las[...]” (Trecho de uma carta escrita por Kepler a um de seus admiradores em 1605. apud Koestler, 1989, p. 238).

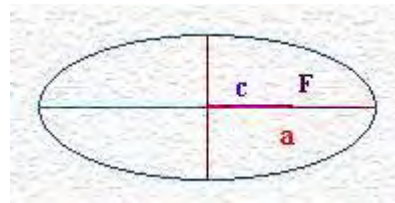
ajustar os dados disponíveis ao modelo tychoniano (figura 4.15). Após inúmeras tentativas sem sucesso, Kepler decide buscar no sistema de Copérnico a concordância entre teoria e dados. O máximo que pôde obter neste trabalho foi um ajuste que diferia em apenas 8' de ângulo. Um excelente resultado para a época, mas Kepler sabia que a precisão dos dados obtidos por Tycho era da ordem de 4' de ângulo. A partir de tal constatação, existiam dois caminhos a seguir: rejeitar o modelo teórico ou os dados observacionais.

Enquanto a cosmologia se guiou por regras puramente geométricas do jogo, sem levar em consideração as causas físicas, as discrepâncias entre a teoria e o fato puderam ser superadas pela inserção de outra roda no sistema. Num universo movido por forças reais, físicas, tal coisa já não é possível. A revolução que libertou o pensamento da sufocação do velho dogma criou imediatamente uma disciplina própria e rigorosa (Koestler, 1989, p.221).

Confiando plenamente nos dados disponíveis, ele conclui ser impossível descrever as órbitas planetárias a partir de círculos perfeitos. Mas qual deveria ser a verdadeira forma da trajetória descrita pelos planetas?

[...] Kepler deu por fim o passo revolucionário de rejeitar inteiramente os círculos, experimentando uma curva oval, e finalmente a elipse. Para apreciar quão revolucionário era na realidade esse passo, lembremo-nos de que tanto Aristóteles como Platão insistiram em que as órbitas planetárias tinham que ser combinadas a partir de círculos, e que este princípio era lugar comum, tanto no *Almagesto* de Ptolomeu quanto no *De Revolutionibus* de Copérnico (Cohen, 1967, p.146).

As órbitas da maioria dos planetas são elipses com valores de excentricidade tão pequenos que, à primeira vista, confundem-se com círculos. A excentricidade ( $e = c/a$ ) de uma elipse define seu grau de “achatamento” e varia entre zero (para o círculo) e 1 (um).



(a)



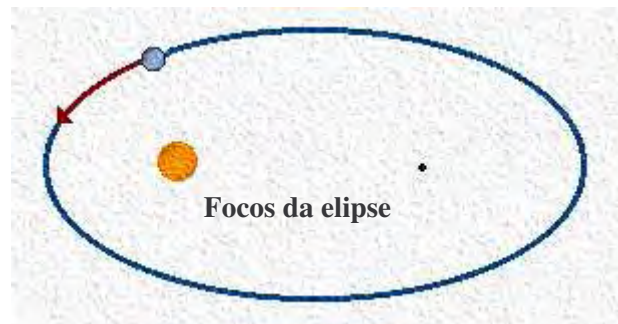
(b)

FIGURA 4.17: (a) Esquema geral de uma elipse. (b) Conseqüência do valor da excentricidade para o formato da elipse.\*

## 4.12 - As leis do movimento planetário

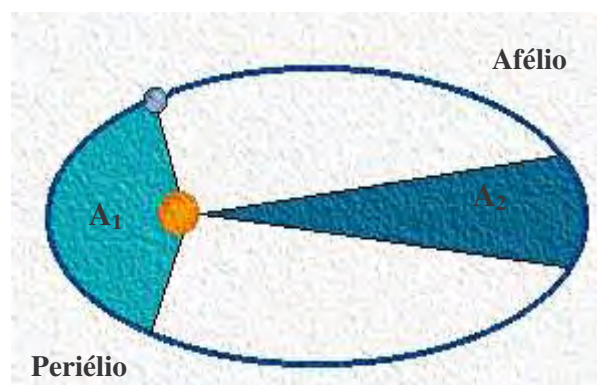
\* Figura 17(b) extraída de: <http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/history/kepler.html>  
(23/04/1999).

Primeira lei: As órbitas dos planetas são elipses, com o Sol localizado em um dos focos.



**FIGURA 4.18:** Representação de uma órbita elíptica.

Segunda lei: A linha que une o planeta ao Sol “varre” áreas iguais em tempos iguais. Isto implica que ele caminha com maior velocidade no periélio do que no afélio.



**FIGURA 4.19:** Para um mesmo intervalo de tempo, os valores das áreas  $A_1$  e  $A_2$ , seriam iguais.

As duas primeiras leis de Kepler foram publicadas em 1609 em seu livro “Nova Astronomia”. A terceira lei só foi divulgada em 1618 na obra “A Harmonia do Mundo”.

Ao perceber que as velocidades orbitais dos planetas decresciam com o aumento da distância ao Sol, com o aumento dos períodos de revolução, Kepler buscou encontrar uma relação entre tais grandezas. A terceira lei relaciona os períodos de revolução dos planetas às suas distâncias médias ao Sol.

Terceira lei: Os quadrados dos tempos de revolução de quaisquer dois planetas ao redor do Sol são proporcionais aos cubos das suas distâncias médias ao Sol.

$$\frac{D^3}{T^2} = K$$

A significação desta terceira lei é que ela é uma condição necessária isto é, ela afirma que em qualquer sistema de satélites é impossível estes se moverem com qualquer velocidade a qualquer distância. Uma vez escolhida a distância, está determinada a velocidade. No nosso sistema solar esta lei implica em que o Sol fornece a força que governa, que mantém os planetas movendo-se como fazem (Cohen, 1967, p.151).

Koestler (1989) afirma que as leis de Kepler foram as primeiras “leis naturais” no sentido moderno, contendo afirmações verificáveis sobre

relações universais governando fenômenos particulares, expressas em termos matemáticos.

Kepler esteve muito perto do descobrimento da gravitação universal. Koestler (1989) assinala que na introdução da *Astronomia Nova* há uma tentativa de demolição da doutrina aristotélica de serem os corpos, por natureza, “pesados” ou “leves” em busca de um lugar natural.

Logo, é claro que a doutrina tradicional acerca da gravidade está errada[...]A gravidade é a tendência corpórea mútua entre corpos cognatos (isto é, materiais) para a unidade ou contato de cuja espécie é também a força magnética, de modo que a Terra atrai uma pedra muito mais do que uma pedra atrai a Terra[...] Supondo que a Terra estivesse no centro do mundo, os corpos pesados seriam atraídos, não por estar ela no centro, mas por ser um corpo cognato [material]. Segue-se que, independentemente de onde colocarmos a Terra[...] os corpos pesados hão de procurá-la sempre[...] Se duas pedras fossem colocadas em qualquer lugar do espaço, uma perto da outra, e fora do alcance da força de um terceiro corpo cognato, unir-se-iam, à maneira dos corpos magnéticos, num ponto intermediário, aproximando-se cada uma da outra em proporção à massa da outra. Se a Terra e a Lua não estivessem mantidas nas respectivas órbitas por uma força espiritual ou qualquer outra força equivalente, a Terra



subiria em direção à Lua um cinqüenta e quatro avos da distância, cabendo à Lua descer as restantes cinqüenta e três partes do intervalo, e assim se uniriam. Mas o cálculo pressupõe terem os corpos a mesma densidade. Se a Terra cessasse de atrair as águas do mar, os mares se ergueriam e iriam ter à Lua [...] Se a força de atração da Lua chega até a Terra, segue-se que a força de atração da Terra, com maior razão, vai até a Lua e ainda mais longe[...] Nada do que é feito de substância terrestre é inteiramente leve; mas a matéria menos densa, quer por natureza quer pelo calor, é relativamente mais leve[...] Da definição da leveza segue-o o seu movimento, pois não devemos crer que, uma vez erguida, escape para a periferia do mundo, ou que não seja atraída pela Terra. É simplesmente menos atraída do que a matéria pesada, e, portanto, deslocada pela matéria mais pesada, de modo que vem a ficar em repouso e é mantida no lugar pela Terra[...] (Kepler, *Astronomia Nova*. apud. Koestler, 1989, p.232)

Peduzzi (1998) explica que, ao tentar explicar as causas do movimento planetário, Kepler sofreu a influência das idéias do físico inglês William Gilbert (1540 – 1603) que em 1600 publica *De Magnete*, sua principal obra sobre o magnetismo.

Para Gilbert, nosso planeta era um imenso ímã e a queda dos corpos podia ser explicada pela ação de uma força magnética exercida pela Terra sobre os objetos. Além disso, também assinala que a ação entre dois ímãs é recíproca, ou seja, não é apenas o corpo maior que atrai o menor.

Dessa forma, Kepler

[...] supôs que o Sol emitia eflúvios magnéticos que, à semelhança dos raios de uma roda, giravam com ele no plano de rotação dos planetas. Essas emanções magnéticas os impeliam em seus cursos devido a forças tangenciais (Manson, 1962, p. 154 –5, apud. Peduzzi, 1998, p. 393).

#### **4.13 - Galileu e o sistema copernicano**

Galileu Galilei (1564 – 1642) foi o principal responsável pela introdução do telescópio como instrumento científico. Seu trabalho introduziu inovações na investigação da natureza física, que modificaram as características desta área do conhecimento, tais como a geometrização do estudo do movimento, a elaboração de experiências de laboratório, e de experiências de pensamento (Zanetic, 1995).

Há registros que confirmam sua conversão ao modelo copernicano desde os primeiros anos de estudos. Em 1597, quando Kepler lhe

envia uma cópia do *Mysterium Cosmographicum*, Galileu revela em uma carta alguns pontos interessantes:

[...] prometo ler a obra tranqüilamente, certo de nela descobrir as coisas mais admiráveis, e fá-lo-ei alegremente, *uma vez que adotei os ensinamentos de Copérnico há muitos anos*<sup>\*</sup> e o seu ponto de vista me permite explicar números fenômenos da natureza que, indubitavelmente, ficam inexplicáveis segundo as hipóteses mais correntes. Escrevi inúmeros argumentos em apoio a ele e em refutação ao parecer oposto, mas até agora não ousei publicá-los, atemorizado pelo destino de Copérnico, nosso mestre, que, embora adquirisse fama imortal com alguns, constitui ainda, para uma infinita multidão de outros, (que tal é o número de tolos) objeto de ridículo e zombaria.

Certamente ousaria publicar as minhas reflexões imediatamente se existisse mais gente como vós; como não existe, saberei conter-me. (Trecho da carta de Galileu à Kepler. apud. Koestler , 1989, p. 246)

Apesar de apresentar-se como copernicano convicto, Galileu só se pronuncia a respeito dezesseis anos após a carta dirigida à Kepler. Koestler (1989) destaca que durante esse período, ele não apenas ensinou a velha astronomia segundo Ptolomeu, como também repudiou Copérnico.<sup>8</sup>

---

\* O grifo é meu.

<sup>8</sup> Não havia naquela época motivos para temer uma perseguição religiosa. Até o ano de 1616, Galileu gozou de apoio de vários cardeais (inclusive o futuro papa Urbano VIII) e dos principais astrônomos jesuítas. Koestler (1989, p. 247) ressalta que tal situação está claramente resumida em uma carta do cardeal Divini a Galileu em 1615: “Podemos escrever livremente enquanto nos mantivermos fora da sacristia.”

Galileu não inventou o telescópio, mas segundo seu próprio relato, em 1609 entrou em contato com alguns relatórios sobre a invenção holandesa, o que o estimulou a construir e aperfeiçoar o instrumento.

[...] não poupando esforços nem despesas, a construir para mim próprio instrumento tão superior que os objetos vistos através dele são aumentados quase mil vezes, e parecem estar trinta vezes mais perto do que à vista desarmada (Galileu, *Sidereus Nuncius*. apud. Koestler, 1989, p. 252).

O Mensageiro das Estrelas, impresso em Veneza em 1610 é sua primeira publicação científica e revela algumas descobertas que o telescópio permitiu observar:

- 1) Manchas solares;
- 2) Superfície lunar imperfeita;
- 3) Fases de Vênus;
- 4) Estrelas fixas ainda muito pequenas, ou seja, muito distantes;
- 5) Luas de Júpiter.

É importante ressaltar que Galileu não foi o primeiro, nem o único de seu tempo que utilizou o telescópio para fazer observações astronômicas, não foi o responsável pela descoberta das manchas solares e até a sua prioridade no descobrimento das luas de Júpiter não pôde ser confirmada indubitavelmente,

[...] entretanto, foi o primeiro em publicar o que viu, e em descrevê-lo em linguagem que chamou a atenção de todos (Koestler, 1989, p. 254 – 5).

Muitos ainda recusaram-se a olhar através do instrumento e rejeitavam as observações. O fato é que, apesar de não configurar em prova definitiva do sistema copernicano, já que o sistema tychoniano também podia explicar as fases em Vênus, o telescópio começa a desmistificar a separação entre mundos proposta pelos aristotélicos.

Koyré (1991) assinala que a revolução mais profunda realizada a partir do século XVI foi a dissolução do Cosmos, ou seja a

[...] destruição de uma idéia, a idéia de mundo de estrutura finita, hierarquicamente ordenado, de um mundo qualitativamente diferenciado do ponto de vista ontológico. [...] Isso implica o desaparecimento, da perspectiva científica, de todas as considerações baseadas no valor, na perfeição, na harmonia, na significação e no desígnio (Koyré, 1991, p. 155).

A defesa do sistema ptolomaico começa a ser insustentável diante de tais evidências e muitos membros da igreja preferem adotar o sistema híbrido de Tycho que ainda conserva a Terra no centro do universo<sup>9</sup>.

Em 1632, Galileu publica o *Diálogos sobre os dois principais sistemas de mundo*. Nesta obra, para discutir os méritos dos sistemas ptolomaico e copernicano, o autor utiliza três interlocutores: Filippo Salviati (um copernicano convicto que defende o ponto de vista do próprio Galileu), Sagredo (inicialmente neutro às discussões, é um espírito aberto, livre de preconceitos, capaz de receber os ensinamentos de Salviati) e Simplicio (um aristotélico defensor do sistema

---

<sup>9</sup>. Ver figura 4.15.

ptolomaico). Este trabalho acabou sendo proibido e a concepção copernicana de universo considerada herética.<sup>10</sup>

Somente após a conclusão do julgamento, já com 72 anos de idade é que Galileu publica sua grande obra: os *Discursos e demonstrações matemáticas sobre duas novas ciências*, em 1638. É este trabalho que mais nos interessa em nossa discussão. Na seção seguinte procurarei esboçar algumas de suas contribuições para o estudo da queda dos corpos e do princípio da inércia.

#### 4.14 – Algumas considerações sobre a física de Galileu

Em seus estudos preliminares sobre o movimento, Galileu sofreu a influência da física do *ímpetus*. Sua análise revela que

[...]quando um projétil é arremessado verticalmente para cima ele sobe porque a força (*ímpetus*) que lhe foi impressa é maior do que o seu peso natural. À medida que o projétil continua subindo esta força vai diminuindo, gradativamente, até chegar a um ponto da trajetória em que ela não possa mais sobrepujar a tendência natural do projétil. A partir daí, inicia-se a sua queda. Durante a mesma, a força impressa ao projétil continua diminuindo.

---

<sup>10</sup> Não entrarei em detalhes sobre o envolvimento de Galileu com questões teológicas e a sua posterior condenação, mas é importante notar que a igreja não estava disposta a admitir a concepção de universo heliocêntrico, a não ser que lhe fosse apresentada uma prova conclusiva, que Galileu não dispunha. Porém, *isto não inviabilizava as discussões do modelo copernicano enquanto hipótese matemática*. Koestler (1989, p. 29) ressalta que “O ponto a estabelecer é que atitude do **Collegium Romanum** e dos jesuítas em geral mudou de benevolência para hostilidade, não por causa das opiniões copernicanas sustentadas por Galileu, mas por causa dos ataques pessoais deste a autoridades da Ordem.” Ver comentário na nota 8.

Com isso, a tendência natural do projétil sobrepuja a força impressa, o que explica a sua aceleração. A partir do momento em que a força impressa se anula, o projétil se move com velocidade constante (Peduzzi, 1998, p.359).

Se, por outro lado, um corpo lançado para cima ficar retido em um anteparo, a força que lhe foi impressa de alguma forma se conserva. Isto implica que, ao ser solto, o corpo ganha novos incrementos de velocidade até que a força tenha se esvaído e a velocidade final do corpo permaneça constante.

Peduzzi (1998) ressalta que Galileu buscou inspiração na hidrostática de Arquimedes para relacionar a velocidade de deslocamento de um corpo em um dado meio com o peso específico de ambos. Para isto, utilizou a relação de Filoponos<sup>11</sup>.

$$V \propto (F - R)$$

e relativizou os conceitos de leve e pesado.

Um pedaço de madeira, por exemplo, quando solto no ar cai (por ser pesado), mas quando imerso em água e depois solto se eleva (por ser leve) (Peduzzi, 1998, p. 360).

---

<sup>11</sup>. Já apresentada na página 83.

Como saber então qual será o sentido do movimento de um corpo em um dado meio? <sup>12</sup>.

Para iguais volumes de um corpo de peso  $P_c$  e de um meio de peso  $P_m$ , os quocientes  $P_c/V$  e  $P_m/V$  correspondem respectivamente, aos pesos específicos do corpo  $\rho_c$ , e do meio,  $\rho_m$ . Se  $\rho_c > \rho_m$ , o corpo desce no meio; se  $\rho_c < \rho_m$ , o corpo sobe. (Cf. Peduzzi, 1998)

Dessa forma, a relação de Filoponos para o movimento torna-se:

$$V \propto (\rho_c - \rho_m)$$

Se considerarmos, por exemplo, a razão entre as velocidades de dois corpos de mesmo volume e pesos específicos diferentes, teremos:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{P_1/V - P_m/V}{P_2/V - P_m/V}$$

Da equação acima resulta que se dois corpos de mesmo tamanho e materiais diferentes forem abandonados de uma certa altura em um mesmo meio, o mais pesado chega ao solo primeiro. Tais discussões reforçam a tese de que os experimentos supostamente realizados na torre de Pisa não passam de

---

<sup>12</sup>. Peduzzi (1998) salienta a ruptura com as idéias aristotélicas promovida por Galileu. Sob esta nova perspectiva não há movimento natural para cima, ou seja, nenhum corpo se eleva espontaneamente. Se um determinado corpo sobe é porque é empurrado por outro mais pesado do que ele. O único movimento natural que Galileu reconhece é o dos corpos pesados (para baixo), e todos o são, inclusive o fogo e o ar.



lenda, visto que o próprio Galileu sabia que apenas os corpos constituídos de mesmo material cairiam *aproximadamente* ao mesmo tempo e que dois corpos quaisquer cairiam juntos apenas em uma situação ideal, ou seja, no vácuo.

Sua análise da queda dos corpos está permeada pela crença no princípio de que a natureza age sempre com um mínimo esforço.

Quando [...] observo uma pedra, inicialmente em repouso, caindo de uma posição elevada e continuamente adquirindo novos incrementos de velocidade, por que não hei de acreditar que tais aumentos ocorram de maneira que é extremamente simples e óbvia para qualquer pessoa? Se agora examinarmos a matéria cuidadosamente, não achamos adição ou incremento mais simples do que aquele que se repete sempre do mesmo modo (Galileu, *Diálogos relativos às Duas Novas Ciências*. apud. Cohen, 1967, p. 97).

Ou seja, Galileu concebe o movimento de queda de um corpo como sendo uniformemente acelerado, de forma que em tempos iguais, o corpo adquire iguais acréscimos de velocidade.<sup>13</sup> Havia entretanto uma forte limitação para que tal suposição pudesse ser confirmada, já que Galileu não dispunha de condições para realizar medidas diretas de velocidade.

Ao considerar uma mudança uniforme na velocidade, alguns estudiosos no século XIV, discutiram o que ficou conhecido como “a regra da velocidade média”.<sup>14</sup> Ela estabelece que a distância percorrida por um corpo em

---

<sup>13</sup>.  $a = \Delta v / \Delta t$ , onde a razão  $\Delta v / \Delta t$  é constante.

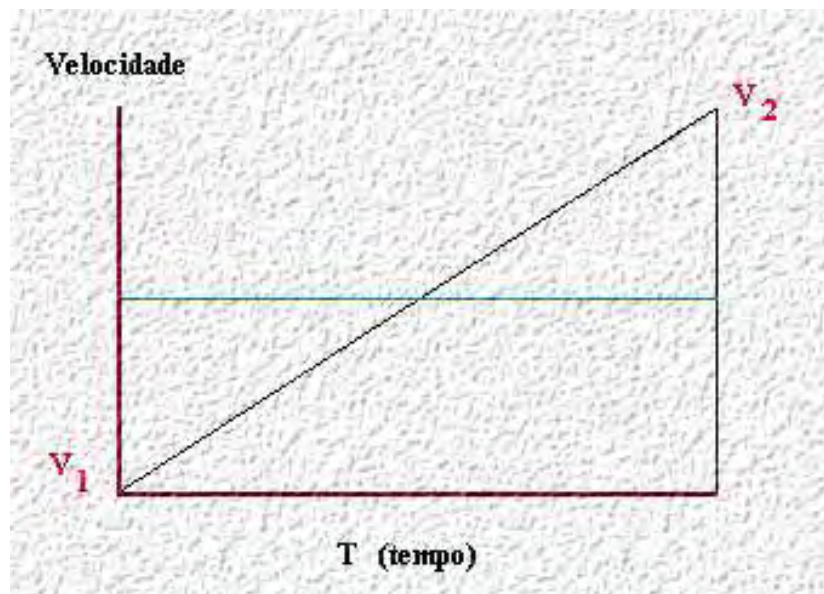
<sup>14</sup>. Cf. Cohen, 1967, p. 110.

um movimento uniformemente acelerado, durante um certo intervalo de tempo, é exatamente a mesma que seria verificada se o corpo estivesse sujeito a um movimento uniforme, cuja velocidade fosse a média aritmética das velocidades inicial e final alcançadas no movimento acelerado.

Foi Nicolau Oresme (1323 – 1382), quem primeiro produziu uma demonstração geométrica desse teorema que foi posteriormente utilizada por Galileu para provar sua lei, que relaciona a distância ao tempo percorrido no movimento acelerado.

Oresme admitiu que a área sob o gráfico da velocidade em função do tempo representaria a distância percorrida pelo corpo. Para o movimento uniformemente acelerado, a apresentação seria uma linha inclinada, e para o movimento uniforme, uma linha reta paralela ao eixo dos tempos.

Esta situação está ilustrada na figura abaixo:



**FIGURA 4.20:** Representação geométrica dos movimentos com velocidade constante (retângulo) e aceleração constante (triângulo retângulo) (Adaptado de Cohen, 1967, p. 111).

A área sob a primeira curva seria a de um triângulo:

$$\frac{1}{2} t \times v_2 = d$$

A área sob a segunda, seria a do retângulo:

$$t \times \frac{1}{2} v_2 = d$$

As áreas, e portanto, as distâncias percorridas, seriam iguais.

Se a velocidade de um corpo que parte do repouso e se desloca com aceleração constante é proporcional ao tempo do movimento ( $v \propto t$ ), da análise acima resulta que  $d \propto t^2$ .

Para o estudo da queda dos corpos Galileu resolveu utilizar um plano inclinado, pois compreendia que uma verificação direta não seria suficientemente precisa.



**FIGURA 4.21:** Plano inclinado do início do século XIX usado para confirmar a lei de queda dos corpos formulada por Galileu.\*

Mantendo fixo o ângulo de inclinação, Galileu mediu os tempos de queda de uma esfera para diferentes distâncias percorridas e, após inúmeras repetições, obteve a proporcionalidade distância - tempo ao quadrado.

No trecho abaixo, Galileu descreve a situação experimental:

Tomou-se uma tábua de madeira, com cerca de doze cúbitos de comprimento, meio cúbito de largura e três dedos de espessura; na sua face cortou-se um canal com pouco mais de um dedo de altura; feito o entalhe tão retilíneo quanto possível, liso e polido, e tendo-se revestido o mesmo com pergaminho, também tão suave e polido quanto possível, fez-se rolar ao longo dele uma esfera pesada de bronze, perfeitamente redonda e de superfície suave. Colocado o conjunto numa posição inclinada, elevando-se

---

\* Extraído de <http://galileo.imss.firenze.it/museo/4/eiv13.html> (18/07/1999).

uma das extremidades cerca de um ou dois cúbitos em relação à outra, fizemos rolar a bola, como dizia, ao longo do canal, anotando, da maneira que vamos descrever, o tempo necessário para a descida. A experiência foi repetida várias vezes, de modo a medir o tempo com uma precisão tal que a diferença entre dois valores correspondentes a duas experiências nunca excedesse um décimo do batimento do pulso. Tendo realizado esta operação e tendo nos assegurado da sua fiabilidade, fizemos rolar a esfera apenas um quarto do comprimento do canal; e tendo medido o tempo de descida, verificamos que era exatamente metade do primeiro. A experiência foi então repetida para outras distâncias, comparando o tempo de descida total com o de metade da descida, ou com o de dois terços, ou com o de três quartos ou, na verdade, com o de qualquer outra fração; em tais experiências, repetidas centenas de vezes, verificamos sempre que os espaços percorridos estavam em relação uns com os outros tal como os quadrados dos tempos, e isto foi verdade para todas as inclinações do [...] canal ao longo do qual fizemos rolar a esfera [...] (Discursos e demonstrações matemáticas relativa a duas novas ciências. apud. Cohen, 1967).

Uma noção inercial aparece na análise de Galileu do movimento dos projéteis, quando afirma que, a resistência do ar aumenta quando a velocidade de um corpo aumenta, de tal forma que, quando a resistência se iguala ao peso do corpo, *este continua seu movimento com velocidade constante*.

Ao analisar o deslocamento horizontal, entretanto, Galileu argumenta que em qualquer direção, um corpo que se move sobre a superfície da Terra estará percorrendo uma superfície esférica.

Salviati: Assim, pois, para que uma superfície não fosse nem inclinada nem elevada, seria preciso que em todas as suas partes ela estivesse igualmente afastada do centro. Mas encontra-se no mundo tal superfície?

Simplício: Não falta. Assim, a do nosso globo terrestre, desde que seja bem polida e não tal como ela é, rugosa e coberta de montanhas; mas sim tal como uma água tranqüila e plácida.

Salviati: Ora, não é o mar uma tal superfície? Por conseguinte, um navio que se mova sobre esta superfície, com uma impulsão uma vez conferida, mover-se-á uniforme e eternamente (Galileu, Diálogo. apud. Zanetic, 1995, p. 114).

Uma das limitações impostas é que a noção de inércia linear pressupõe um universo infinito.

Em toda a extensão da Física explorada por Galileu, não há exemplo algum de um objeto físico que tenha pelo menos uma componente de puro movimento inercial, exceto por um tempo muito curto. Foi talvez por esta razão que Galileu nunca formulou uma lei geral da inércia. Ele era excessivamente físico! (Cohen, 1967, p. 173).

Consequentemente, o princípio de inércia proposto por Galileu é circular, e não linear.

A razão pela qual Galileu pensava em termos de inércia circular parece ter sido o desejo de explicar como, numa Terra em rotação, um corpo caindo continuará sempre a cair em direção descendente, exatamente como se a Terra estivesse em repouso. Evidentemente, a queda retilínea de um corpo pesado em queda deveria continuar a girar com a Terra (Cohen, 1967, p. 125).

Cohen (1967) ressalta que aparentemente, Galileu

[...] nunca tentou explicar o movimento orbital dos planetas, mediante qualquer espécie de princípio atuante de inércia circular e, como bem disse Stillman Drake, o principal perito norte americano no estudo de Galileu, este “não tentou nenhuma explicação da causa dos movimentos planetários, exceto para admitir implicitamente que, se a natureza da gravidade fosse conhecida, também isso poderia ser descoberto” (Cohen, 1967, p. 132).

Chalmers (1993) salienta que Galileu não desenvolveu uma astronomia detalhada e parece ter seguido os aristotélicos em sua preferência por órbitas circulares.

Galileu admite desconhecer a natureza da gravidade, porém isto não o impediu de reconhecer nela um princípio inerente aos corpos.

[...] um corpo grave, por sua natureza, tem um princípio inerente, [uma tendência interna] a mover-se em direção ao centro comum dos corpos graves, isto é, [em direção ao centro] do nosso globo terrestre, com um movimento constantemente acelerado, e acelerado sempre igualmente, isto é, [de tal modo] que, em tempos iguais, recebe adições iguais de movimentos e de novos graus de velocidade (Galileu, *De motu*. apud Koyré, 1991, p. 221).

Koyré (1991) assinala que a gravidade nessa perspectiva pode ser definida como uma força não apenas constante, mas ainda a mesma em todos os corpos, quaisquer que sejam. Isto justificaria o valor constante da aceleração, o

que não ocorreria caso a gravidade fosse um efeito de uma força exterior, como, por exemplo, a atração.

#### 4.15 – Os vórtices de Descartes

Neste nosso breve relato histórico, não podemos deixar de evidenciar a contribuição de René Descartes (1596 – 1650) para o desenvolvimento do conceito de inércia e sua explicação mecânica sobre a causa da gravidade.

Descartes não concordava com a noção de inércia circular proposta por Galileu. Para ele, a inércia fazia com que os corpos persistissem em movimento linear,<sup>15</sup>

[...] o que constituía a teoria mais assombrosa, pois os corpos celestes podiam mover-se em círculos ou elipses, mas indubitavelmente não se moviam em linha reta. Descartes, portanto, admitiu serem os planetas movidos em círculo por vórtices num éter que a tudo penetrava, o que vinha a ser elaboração dos varredouros girantes de Kepler (Koestler, 1989, p. 384).

Essa concepção de universo não comportava qualquer tipo de ação à distância entre corpos, repudiando inclusive alguns modelos que utilizavam o magnetismo como possível responsável pelos movimentos.

---

<sup>15</sup> Koestler (1989) salienta que a primeira lei de Newton, foi formulada por Descartes!



A matéria impregnava todo o espaço e, portanto, em princípio a matéria primordial somente podia sofrer um movimento de rotação. Deste modo se estabeleceu um vórtice gigante no qual os tijolos primários de matéria eram arrastados girando, gastando-se gradualmente pelo atrito. Independentemente de sua forma original, os blocos primários de matéria se desgastavam para formar um pó, a matéria primeira, e pequenas esferas, a matéria segunda. O pó cósmico ou matéria primeira constituía o elemento fogo que formava o Sol e as estrelas fixas. A matéria segunda era o ar ou elemento etéreo que compunha o material do espaço interestelar. Havia também uma matéria terceira, a saber, os blocos originais de matéria que não se haviam decomposto em pó mas que apenas haviam-se arredondado. Estes grandes blocos esféricos de matéria constituíam o elemento terra que formava a Terra, os planetas e os cometas (Mason, S.F., 1985. apud. Zanetic, 1995, p. 138).

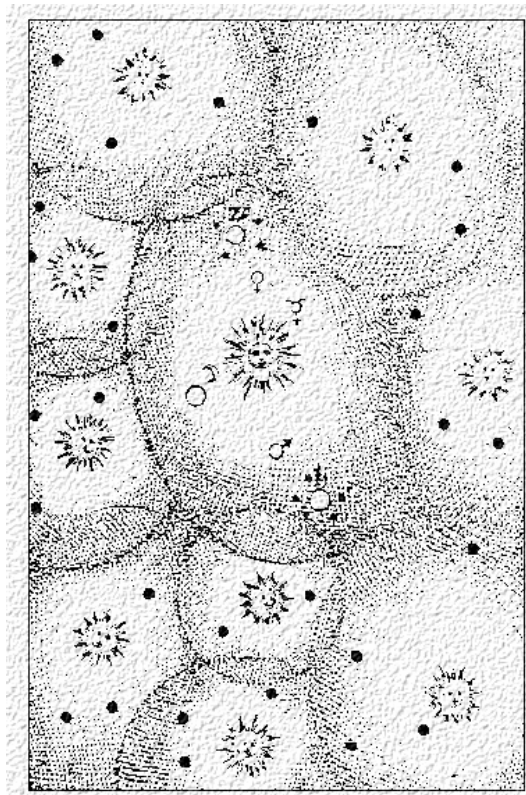


FIGURA 4.22: Modelo gravitacional de Descartes, evidenciando os vórtices de matéria que permeiam todo o espaço (Extraído de Zanetic, 1995, p. 138).

#### 4.16 - A síntese newtoniana

Isaac Newton nasceu em Lincolnshire, Inglaterra em 1642, ano da morte de Galileu e faleceu Kensington, Londres em 1727.

Alfabetizou-se na escola local e prosseguiu seus estudos em um liceu em Grantham. Em 1661, foi aceito no Trinity College, na universidade de Cambridge.

Em junho de 1665, devido a uma terrível peste que atacou Londres e matou um grande número de pessoas, a Universidade de Cambridge se vê obrigada a fechar suas portas e mandar para casa professores e alunos. Entre eles, o jovem Newton que acabara de concluir o bacharelado, volta a Lincolnshire onde passa um período em férias forçadas. Durante este tempo, ele aprofundou seus estudos em vários campos.

Zanetic (1995) revela que em 1666, Newton havia produzido conhecimento sobre os seguintes temas:

1. tinha uma formulação provisória de sua teoria da gravitação, pelo menos como uma hipótese de trabalho razoável;
2. redigiu um esboço medianamente completo do cálculo de fluxões, que viria a ser o cálculo infinitesimal;
3. formulou o seu teorema do binômio;
4. escreveu e pesquisou a natureza da luz. (Zanetic, 1995, p. 141)

De acordo com Koestler (1989), Newton foi o responsável por unir conhecimentos dispersos, propondo uma explicação para o “funcionamento” do universo em uma formulação tão poderosa que, ainda hoje, nossa visão de mundo é essencialmente newtoniana. Ele explica que Newton tinha pela frente um verdadeiro quebra-cabeça: de um lado as leis do movimento dos corpos celestes, de Kepler e as leis do movimento dos corpos na Terra, de Galileu.

As forças que impeliam os planetas no modelo Kepleriano não resistiam ao escrutínio do físico. E, vice-versa, as leis da queda dos corpos e dos projéteis de Galileu não possuíam relação aparente com os movimentos dos planetas nem dos cometas. Segundo Kepler, os planetas moviam-se em elipses; segundo Galileu, em círculos. Segundo Kepler, eram movidos pelos “raios” de uma força oriunda do sol girante; segundo Galileu, não eram absolutamente movidos, porque o movimento circular perpetuava a si próprio. Segundo Kepler, a preguiça ou inércia dos planetas fazia com que eles tendessem a ficar para trás; segundo Galileu, o próprio princípio da inércia os fazia persistir em girar em círculos. “Tudo estava em pedaços; não havia coesão” (Koestler, 1989, p. 348).

A mecânica do movimento circular também era um ponto que gerava dificuldades de entendimento. Os trabalhos de Descartes e Christiaan Huygens (1629 – 1695) identificavam a necessidade de uma força centrífuga\* em oposição à atração sofrida pelo objeto ao centro de revolução. Ou seja, nesta perspectiva,

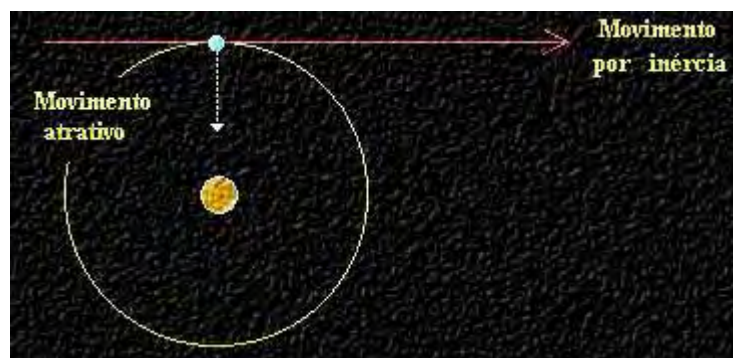
---

\* Termo cunhado por Huygens para descrever uma espécie de “tendência” do corpo em rotação de se afastar do centro (Cf. Peduzzi, 1998, p.570).

[...] uma trajetória circular estável [...] exigia a ação de uma força sobre o corpo em rotação (proveniente de quem o girava), para compensar o seu efeito centrífugo (Peduzzi, 1998, p. 570).

Peduzzi (1998) explica que o próprio Newton sustentava idéia semelhante.

Em 1679, Robert Hooke (1635 – 1703) rompe com tal concepção. Em correspondência enviada a Newton, revela sua suposição de que o movimento de um corpo em uma trajetória curvilínea é causado por uma combinação de dois movimentos: um atrativo e outro, inercial. Esta situação está ilustrada na figura abaixo.



*FIGURA 4.23:* A suposição de Hooke para o movimento curvilíneo implicava na composição de movimentos.

Peduzzi (1998) assinala que a suposição de Hooke implicava no abandono da noção de força centrífuga e do equilíbrio de forças que sua existência demandava, em favor de uma única força, centrípeta, dependente do corpo central.

O alcance de tal noção aparece claramente no trecho abaixo:

O legado de Hooke a Newton não foi a dependência da força com o inverso do quadrado da distância, que também era emitida (mas não provada, se a órbita fosse circular) por outros cientistas, da época. Tampouco foi a idéia de atração, que já era mencionada por William Gilbert (1540 – 1603), antes de 1600, a partir de seus estudos experimentais e discussão qualitativa sobre o magnetismo [...]. Concebendo a Terra como um gigantesco ímã, Gilbert não apenas considerava que a sua influência podia se estender até a Lua como admitia, com base nos resultados de suas experiências, uma reciprocidade de ações entre a Terra e a Lua. A hipótese original de Hooke sim, aceita por Newton, indicou-lhe a direção correta para a análise precisa de um movimento curvilíneo, e da ‘dança dos planetas’, em especial (Peduzzi, 1998, p. 572-3).

Westfall (1995) também assinala que os

[...] papéis de Newton não revelam nenhuma compreensão semelhante do movimento circular antes dessa carta (Westfall, 1995, p. 148).

Cohen (1967) afirma que alguns pensadores no século XVII, como Edmund Halley (1656 – 1742), Christopher Wren (1632 – 1723) e o próprio Hooke, buscavam independentemente revelar sob qual lei de força seguiria um planeta uma órbita elíptica. De acordo com as leis de Kepler, era claro que o Sol, deveria controlar ou ao menos influir no movimento. Já havia nesta época alguma especulação acerca de uma força diminuindo segundo o inverso do quadrado da distância.

Com a publicação da regra da força centrífuga <sup>17</sup> proposta por Huyghens em 1673 ( $F \propto v^2/r$ ), e a partir da terceira lei de Kepler ( $r^3/T^2$ ), não era difícil chegar à dependência da força com o inverso do quadrado da distância (para órbitas circulares).

Bernal (1969) explica que em 1679 Hooke, Halley e Wren estavam convencidos de que a força que mantinha os planetas em suas órbitas era do tipo

$$F \propto 1/d^2,$$

entretanto não foram capazes de relacionar sua hipótese com os movimentos observados dos corpos celestes e dois problemas permaneciam sem solução:

- 1) A justificativa para as órbitas elípticas e
- 2) a forma de atuação de grandes corpos atrativos.

Em agosto de 1684, Halley decide ir a Cambridge consultar Newton.

Sem mencionar suas próprias especulações nem as de Hooke e Wren, ele imediatamente indicou o objetivo de sua visita ao perguntar a Newton qual seria a curva descrita pelos planetas na hipótese de que a gravidade diminuísse com o quadrado das distâncias. Newton respondeu imediatamente: “Uma elipse”. Tomado de alegria e espanto, perguntou Halley como ele o sabia! “Ora, eu o calculei”, replicou ele. E sendo-lhe

---

<sup>17</sup>. Para Hooke, força centrípeta. (Cf. Peduzzi, 1998, p. 591).

pedido o cálculo, não conseguiu encontrá-lo mas prometeu remetê-lo (Cohen, 1967, p. 163).

Westfall (1995) afirma que se pode descartar a história de cálculo perdido, uma vez que ele se conservou entre os papéis de Newton. O autor assinala que Newton provavelmente preferiu reexaminar o trabalho antes de torná-lo público.

Incentivado por Halley, Newton decide reunir suas descobertas e redige um tratado intitulado “De motu corporum in gyrum”<sup>18</sup>, no qual

não apenas demonstrava que a órbita elíptica implicava uma força inversamente proporcional ao quadrado em direção a um foco, como também esboçava uma demonstração do problema original: a força inversamente proporcional ao quadrado implicava uma órbita cônica, que é uma elipse para velocidades abaixo de um certo limite (Westfall, 1995, p. 159).

O desenvolvimento deste tratado gerou a publicação em 1687 do *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

Esta obra é dividida em três livros. No primeiro, Newton desenvolve os princípios gerais da dinâmica dos corpos em movimento, e no terceiro, os aplica ao movimento no macrocosmo, onde discute o movimento da Lua, a aceleração da força gravitacional, o problema das marés etc. O segundo livro trata da mecânica dos fluidos, da teoria das ondas.

---

<sup>18</sup>. “Do movimento dos corpos numa órbita” (Cf. Westfall, 1995, p. 159)

Nas seções seguintes procurarei esboçar alguns aspectos relevantes para a construção do princípio da atração gravitacional.

#### **4. 17 - As leis do movimento.**

Westfall (1995) revela alguns aspectos da evolução da concepção newtoniana de força, apresentada no *De motu* e mais tarde no *Principia*.

Inicialmente, a primeira lei afirmava que os corpos deslocavam-se uniformemente em função de sua força intrínseca. Na segunda lei, Newton tentou definir o papel da força impressa, afirmando que a mudança do movimento é proporcional à tal força e ocorre na direção da reta em que ela é aplicada.

Mais tarde, a definição de força intrínseca passa a ser atribuída, não a um corpo, mas à matéria e ganha um outro nome, força de inércia.

Um adendo à noção de força impressa procurou deixar claro de que se tratava apenas de uma ação, não permanecendo no corpo após ação ter sido concluída.

“*LEI I:* Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.”

“*LEI II:* A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.”

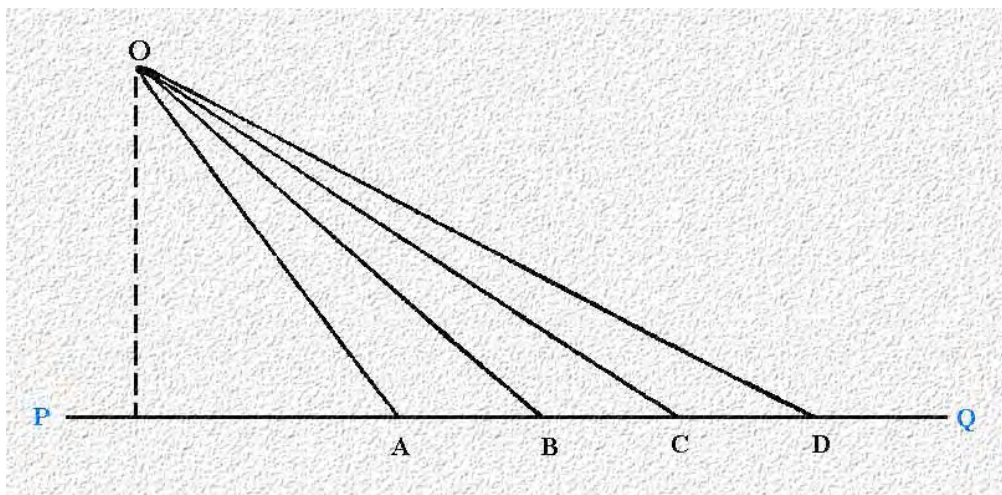


“*LEI III:* A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.”

#### 4.18 – A formulação de Newton e as leis de Kepler

No primeiro teorema apresentado nos Principia, Newton demonstrou que, se um corpo realiza um movimento puramente inercial<sup>19</sup>, a lei das áreas de Kepler é válida em relação a qualquer ponto fora da trajetória.

Tal situação está representada na figura abaixo.

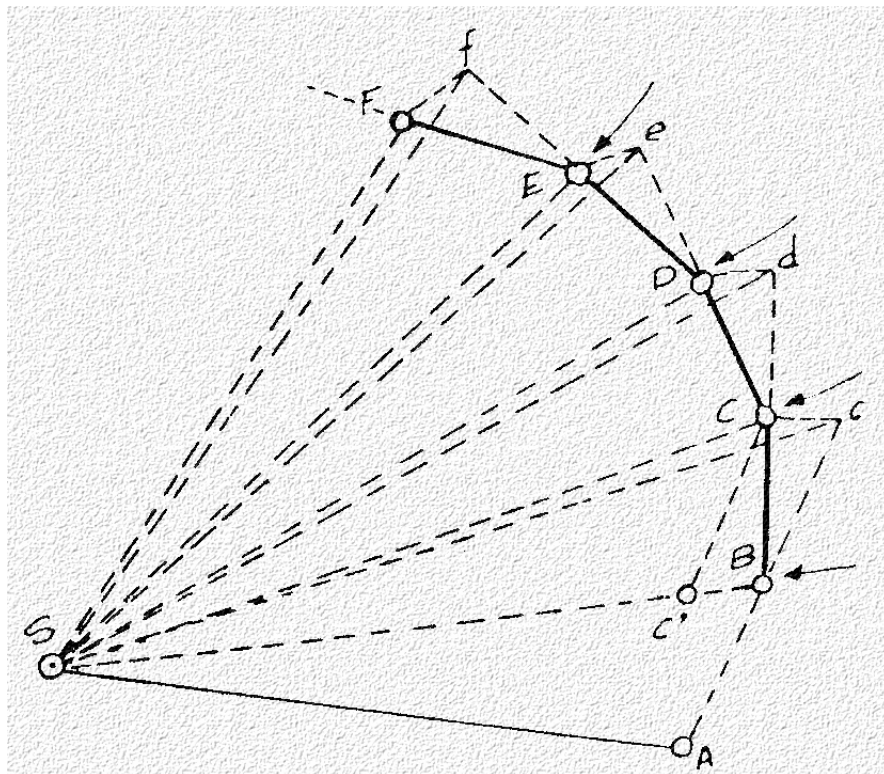


**Figura 4.24:** A segunda lei de Kepler é válida mesmo para um corpo que se move com velocidade uniforme ao longo de uma reta (Extraído de Cohen, 1967, p. 175).

<sup>19</sup> Movimento com velocidade constante, onde o corpo percorre espaços iguais em iguais intervalos de tempo.

A seguir, considerou o caso em que o corpo recebe um impulso no ponto B em direção ao centro. A nova trajetória descrita é resultado da composição do movimento original ao longo de AB com o movimento na direção de S.

Newton mostrou que a área do triângulo SBC é igual à área do triângulo SBc. Diminuindo a largura dos triângulos, ou seja fazendo o intervalo de tempo entre os impulsos tender a zero, teremos uma força sempre dirigida para o centro.



**FIGURA 4.25:** A lei das áreas de Kepler é válida mesmo quando há uma força impulsiva em direção ao centro (Extraído de Cohen, 1967, p. 177).

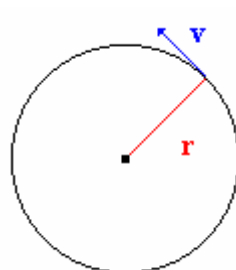
Peduzzi (1998) explica que Newton deu significado à lei das áreas de Kepler ao provar que, se um corpo é continuamente atraído por um centro de força, seu movimento que de outro modo seria inercial, será transformado em movimento ao longo de uma curva e que uma linha traçada do centro de força ao corpo varrerá áreas iguais em tempos iguais. Faltava ainda determinar tal força.

#### 4.19 – Newton e a gravitação universal.

Buscando reconstruir alguns aspectos básicos do desenvolvimento da gravitação, procuraremos desenvolver nesta seção *um breve esboço* de alguns resultados, sem ter a pretensão de reconstruir os passos que conduziram Newton à sua formulação.

Como as excentricidades das órbitas elípticas dos planetas são muito pequenas, assumiremos em nossos cálculos, órbitas circulares.

Consideremos um planeta de massa  $m_p$  e velocidade  $v$ , movendo-se ao longo de um círculo de raio  $r$  em torno do Sol.



**FIGURA 4.26:** Um corpo de massa  $m_p$  movimenta-se circularmente em torno de um centro de força atrativo de massa  $m_s$  (Adaptado de Peduzzi, 1998, p. 577).

Para o movimento circular uniforme, a aceleração centrípeta seria dada por:

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

Sendo T o período, ou o tempo que o planeta leva para descrever a circunferência de comprimento  $2\pi r$ , a velocidade é dada por

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (2)$$

Pela segunda lei de Newton, a força de atração que o Sol exerce sobre o planeta resulta

$$F_{sp} = m_p . a = m_p \times \left[ \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} \right] \times \frac{1}{r} \quad (3)$$

$$F_{sp} = m_p . a = m_p \times \left[ \frac{4\pi^2 r^2}{T^2 r} \right] \times \frac{r}{r} \quad (4)$$

$$F_{sp} = m_p . a = m_p \times \frac{4\pi^2}{r^2} \times \frac{r^3}{T^2} \quad (5)$$

Como para qualquer planeta do sistema solar,  $r^3/T^2$  é uma constante, de acordo com a terceira lei de Kepler, podemos escrever:

$$F_{sp} = m_p \cdot a = \frac{4\pi^2 m_p}{r^2} \times K \quad (6)$$

$$F_{sp} = 4\pi^2 K \frac{m_p}{r^2} \quad (7)$$

Onde  $r$  é a distância média de um planeta ao Sol.

Peduzzi (1998) assinala que, dessa forma, obtemos que a força atrativa que desvia continuamente o planeta de sua trajetória puramente inercial é diretamente proporcional à massa do planeta e inversamente proporcional ao quadrado da distância.

De acordo com a terceira lei de Newton, a força exercida pelo Sol sobre o planeta é igual (em módulo) à força que o planeta exerce sobre o Sol.

$$F_{SP} = F_{PS} \quad (8)$$

Se a força exercida pelo Sol sobre o planeta é proporcional à massa do planeta e inversamente proporcional ao quadrado da distância, de acordo com a expressão (7)

$$F_{SP} \propto m_p \quad (9)$$

$$F_{SP} \propto \frac{1}{r^2} \quad (10)$$

então, a força exercida pelo planeta sobre o Sol deverá ser proporcional à massa do Sol.

$$F_{PS} \propto m_s \quad (11)$$

Através da análise das relações (8),(9) e (10) , podemos escrever:

$$F_{SP} \propto m_p \quad \text{e} \quad F_{SP} \propto m_s \quad (12)$$

Assim:

$$F_{SP} \propto \frac{m_p \cdot m_s}{r^2} \quad (13)$$

Se multiplicarmos e dividirmos a relação (7) por  $m_s$  , teremos:

$$F_{sp} = \frac{4\pi^2 K}{m_s} \frac{m_s m_p}{r^2} \quad (14)$$

Comparando as expressões (13) e (14), obtemos a constante de proporcionalidade G:

$$G = \frac{4\pi^2 K}{m_s} \quad (15)$$

Quando Newton sugeriu que tal constante é universal e que a lei expressa pela relação (14) não tem aplicação limitada entre o Sol e um planeta, mas que também se aplica a cada par de objetos no universo, não

[...] há Matemática – seja Álgebra, Geometria, ou cálculo integral ou diferencial – que justifique este passo audacioso. Dele se pode dizer somente que é um desses triunfos que tornam o homem comum humilde diante do gênio” (Cohen, 1967, p. 184).

A partir desta formulação, Peduzzi (1998) afirma que a física

[...] e a filosofia natural aristotélica estão definitivamente sepultadas. O universo é regido pelas mesmas leis físicas (Peduzzi, 1998, p. 581).

#### 4. 20 – O problema da distância.

Nunca estendi a proporção quadrática a pontos abaixo da superfície da Terra &, até uma certa demonstração que realizei ano passado, suspeitava que ela não descesse a um ponto muito abaixo com suficiente exatidão [...]. Há uma objeção tão intensa à exatidão dessa proporção que, sem minhas

demonstrações [...], nenhum filósofo judicioso conseguirá acreditar que ela tem o mínimo de precisão (Trecho de correspondência de Newton a Halley. apud. Westfall, 1995, p. 169).

Zanetic (1995) afirma que o valor de  $r$  que deveria ser utilizado na expressão (14) ainda representava uma dificuldade para Newton, uma vez que no caso de um corpo próximo à superfície, parte da Terra está muito próxima, enquanto que outras partes estão a grandes distâncias.

As proposições apresentadas a seguir, extraídas do Livro I do Principia, revelam a forma encontrada por Newton para solucionar tal problema.

#### Proposição LXX. Teorema XXX

Se para cada ponto de uma superfície esférica tenderem forças centrípetas iguais, que diminuem com o quadrado das distâncias a partir desses pontos, afirmo que um corpúsculo localizado dentro daquela superfície não será atraído de maneira alguma por aquelas forças.

#### Proposição LXXI. Teorema XXXI

Supondo-se o mesmo que acima, afirmo que um corpúsculo localizado fora da superfície esférica é atraído em direção ao centro da esfera com uma força inversamente proporcional ao quadrado de sua distância até este centro.

#### Proposição LXXIII. Teorema XXXIII.



Se para os vários pontos de uma dada esfera tenderem forças centrípetas iguais, que decrescem com o quadrado das distâncias a partir dos pontos, afirmo que um corpúsculo localizado dentro da esfera é atraído por uma força proporcional à sua distância a partir do centro.

Proposição LXXV. Teorema XXXV.

Se para os vários pontos de uma dada esfera tenderem forças centrípetas iguais, que decrescem com o quadrado das distâncias a partir do ponto, afirmo que outra esfera semelhante será atraída por ela com uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os centros.

#### **4.21 – A natureza da gravidade.**

Carjori (1990) salienta que o prefácio de Roger Cotes à segunda edição dos Principia, em 1713 pode ter contribuído para um mau entendimento das concepções de Newton. Expressões do tipo: “o atributo da gravidade é encontrado em todos os corpos” e “a gravidade deve ter lugar entre as qualidades primárias de todos os corpos”, parecem implicar que a gravidade é uma propriedade inerente à matéria.

Por outro lado, algumas frases dos Principia de 1687, parecem levar a uma implicação semelhante.

Newton afirma (Livro I, Prop. LX): “Se dois corpos...atraindo-se com forças inversamente proporcionais ao quadrado de sua distância”; (Livro I, Prop. LXIX) “as forças absolutas dos corpos atrativos”; (Livro I, Prop. LXXII) “a atração de um corpúsculo em direção às diversas partículas de uma esfera” [...]. Nessas expressões, os “corpos” ou “corpúsculos” são descritos como ativos, como “atrativos” (Cajori, 1990, p. 273).

Apesar de não representar o pensamento de Newton, tal concepção foi durante muito tempo atribuída à ele. Em cartas a Richard Bentley, de 1692-3, Newton opôs-se fortemente à doutrina segundo a qual a gravidade seria uma propriedade inata da matéria e também à noção de “ação à distância”.

Em uma carta a Bentley, Newton escreveu: “Você às vezes fala da gravidade como essencial e inerente à matéria. Peço-lhe que não atribua essa noção a mim; pois a origem da gravidade é o que não pretendo descobrir, e, portanto, levaria mais tempo para considerar a respeito dela.

Em outra carta, Newton escreveu:

*É inconcebível que a matéria bruta e inanimada devesse, sem a mediação de alguma outra coisa não material, atuar sobre e afetar outra matéria sem haver contato mútuo\**, como deveria ser se a gravitação fosse essencial e inerente a ela, no sentido de Epicuro. E esta é uma razão pela qual desejaria que você não atribuísse a gravidade inata a mim. Que a gravidade seja inata, inerente e essencial à matéria, de forma que um corpo possa atuar sobre outro a uma distância através do vácuo, sem a mediação de qualquer outra coisa, por e através da qual sua ação e força possa ser transportada de um para outro, é para mim um absurdo tão grande que acredito que nenhum homem

---

\* Grifo meu.

dotado de uma faculdade competente em assuntos filosóficos possa nele recair. A gravidade deve ser causada por um agente que atue constantemente de acordo com certas leis; mas se este agente é material ou imaterial, deixo para a consideração dos meus leitores (Cajori, 1990, p. 274).

Cajori (1990) explica que tais cartas só foram publicadas muitos anos depois e portanto, não podiam influenciar a opinião científica da época.

Na segunda edição do Principia de 1713, Newton tornou mais clara sua posição:

[...] Aqui emprego a palavra atração em sentido geral, para qualquer esforço feito por corpos para se aproximarem uns dos outros, seja esse esforço oriundo da ação dos próprios corpos, como quando tendem uns para os outros por influencias emitidas; ou *decorra da ação do éter ou do ar, ou de qualquer que seja o meio, corpóreo ou incorpóreo, impelindo corpos ali localizados, de alguma maneira, uns em direção aos outros*\* (Newton, 1990, p. 218-9).

Em 1717, na segunda edição de seu livro Óptica, Newton volta ao assunto em uma discussão apresentada na forma de questão.

---

\* Aqui, Newton lança a hipótese de uma matéria que poderia desempenhar o papel de meio para a propagação da atração gravitacional. Grifo meu.

*Questão 31:* Não têm as pequenas partículas dos corpos certos poderes, virtudes ou forças por meio dos quais elas agem a distância não apenas sobre os raios de luz, refletindo-os, refratando-os e inflectindo-os, mas também umas sobre as outras, produzindo grande parte dos fenômenos da natureza? Pois sabe-se que os corpos agem uns sobre os outros pelas ações da gravidade, do magnetismo e da eletricidade; e esses exemplos mostram o teor e o curso da natureza, e não tornam improvável que possa haver mais poderes atrativos além desses. Porque a natureza é muito consonante e conforme a si mesma. *Não examino aqui o modo como essas ações podem ser efetuadas. O que chamo de atração pode-se dar por impulso ou por algum outro meio que desconheço. Uso esta palavra aqui apenas para expressar qualquer força pela qual os corpos tendem um para o outro seja qual for a causa.\** Pois devemos aprender, pelo exame dos fenômenos da natureza, quais corpos se atraem e quais são as leis e propriedades da atração, antes de investigar a causa pela qual a atração se efetua. As atrações da gravidade, do magnetismo e da eletricidade alcançam distâncias bem perceptíveis, e assim têm sido observadas pelos olhos comuns, podendo haver outras que alcançam distâncias tão pequenas que escaparam à observação até aqui; e talvez a atração elétrica possa alcançar essas distâncias mínimas mesmo sem ser excitada pela fricção (Newton, 1996, p. 274-5).

#### **4.22- Campo gravitacional.**

Peduzzi (1998) assinala que a partir de 1820, uma série de descobertas envolvendo a eletricidade e o magnetismo acabou colocando em

---

\* Grifo meu.

evidência fatos teóricos e experimentais que sugeriam haver uma ligação entre esses dois domínios do conhecimento.

A partir da síntese matemática do eletromagnetismo, elaborada pelo físico escocês J. C. Maxwell (1831 –1879), na segunda metade do século XIX, vê-se surgir uma nova e poderosa teoria científica com amplo poder explicativo, que vai abalar definitivamente a hegemonia do conceito mecânico (Peduzzi, 1998, p. 634).

Na física newtoniana, a realidade física é descrita em termos de partícula e forças, mas a partir dos trabalhos de Michael Faraday (1791 - 1867) e James Clerk Maxwell (1831 – 1879), a entidade importante na descrição da realidade física passa a ser o campo. A realidade física pode ser descrita localmente nos termos dos valores que os campos têm no espaço, sem referência explícita às suas fontes.

O conceito de campo gravitacional descreve de maneira mais elegante os efeitos anteriormente atribuídos à uma espécie de ação à distância.

Cajori (1990) assinala que a questão da gravidade adquiriu um novo interesse com o advento da Teoria da Relatividade Geral de Einstein,

[...] de acordo com a qual a gravidade é encarada não como uma propriedade inata aos corpos, mas sim como certa modificação no espaço. De acordo com Einstein, a Terra produz nas suas vizinhanças um campo gravitacional, que agindo sobre a maçã provoca seu movimento de queda. No campo gravitacional de Einstein, em geral, um raio de luz propaga-se

curvilíneamente. A diferença entre a nova e a velha física é enunciada por Eddington assim: “A lei da gravitação de Einstein controla uma quantidade geométrica, a curvatura, em contraste à lei de Newton que controla uma quantidade mecânica, a força” (Cajori, 1990, p. 275-6).

A análise da evolução histórica mostra que os modelos explicativos para a atração entre corpos evoluem desde a noção de “lugar natural”, uma tendência dos graves de procurar o centro do universo, que no sistema aristotélico coincidia com a Terra; passando pela “ação à distância”, onde as discussões concentravam-se na necessidade de um meio capaz de transmitir a força atrativa, já que até então, as discussões sobre o movimento baseavam-se na necessidade de uma força de contato; culminando com a noção de campo, conseqüência dos trabalhos sobre eletricidade e magnetismo.



## ALGUNS ASPECTOS DA EVOLUÇÃO DAS DISCUSSÕES SOBRE OS MODELOS DE MUDANÇA CONCEITUAL

A partir da década de 70, um grande volume de pesquisas preocupadas com o conteúdo das idéias dos estudantes em relação aos diversos conceitos científicos, revelou que tais noções podem diferir substancialmente da ciência que se pretende ensinar, que estas concepções influenciam a aprendizagem futura e que elas podem ser resistentes à mudanças (Driver, 1989).

Esses trabalhos contribuíram para o fortalecimento da visão construtivista de ensino e aprendizagem e propiciaram a contestação dos chamados modelos de aprendizagem por aquisição conceitual, centrados na transmissão de conhecimentos por parte do professor e não na natureza e origem do conhecimento que o aluno já possui.

### **C. Wheatley (1991) salienta que**

[...] existe um princípio fundamental da teoria construtivista que certamente não causará controvérsias: o conhecimento não é recebido passivamente mas é construído ativamente pelo sujeito. Idéias e pensamentos não podem ser comunicados como se o significado estivesse empacotado dentro das palavras e enviado a outra pessoa que os desembrulha. Sendo assim, nós não podemos colocar idéias dentro das cabeças das crianças, somente elas poderão e irão construir as suas próprias idéias. Nosso esforço de comunicação não resulta no transporte de significados mas nossa expressão evoca significados em outras pessoas, significados diferentes para cada pessoa”. (Wheatley, 1991, p.10).



A partir desses resultados, a imagem do estudante enquanto “tabula rasa”, um mero “sorvedouro” passivo de conhecimentos, teve de ser revista.

Na tentativa de descrever as condições necessárias para que um indivíduo, partindo de suas noções intuitivas, pudesse rejeitá-las em favor de concepções cientificamente aceitas, surgem os *modelos de mudança conceitual*.

Cunha (1999) assinala que

Os modelos de mudança conceitual valorizam os esquemas prévios dos alunos e se baseiam nas teorias filosóficas de Kuhn, Toulmin e Bachelard. Ao propor estratégias para promover a mudança conceitual, alguns autores têm recorrido igualmente ao falseamento metodológico de Lakatos. (Cunha, 1999, p. 100).

Santos (1991, p.178) destaca os principais pontos de convergência desses modelos:

- Necessidade de partir sempre do que o aluno já sabe;
- Necessidade de haver mudança conceitual;
- Necessidade do aluno desempenhar um papel ativo em tal mudança, traçando os degraus do familiar para o novo.

A figura abaixo ilustra a influência das idéias extraídas da Filosofia da Ciência na visão construtivista de ensino.

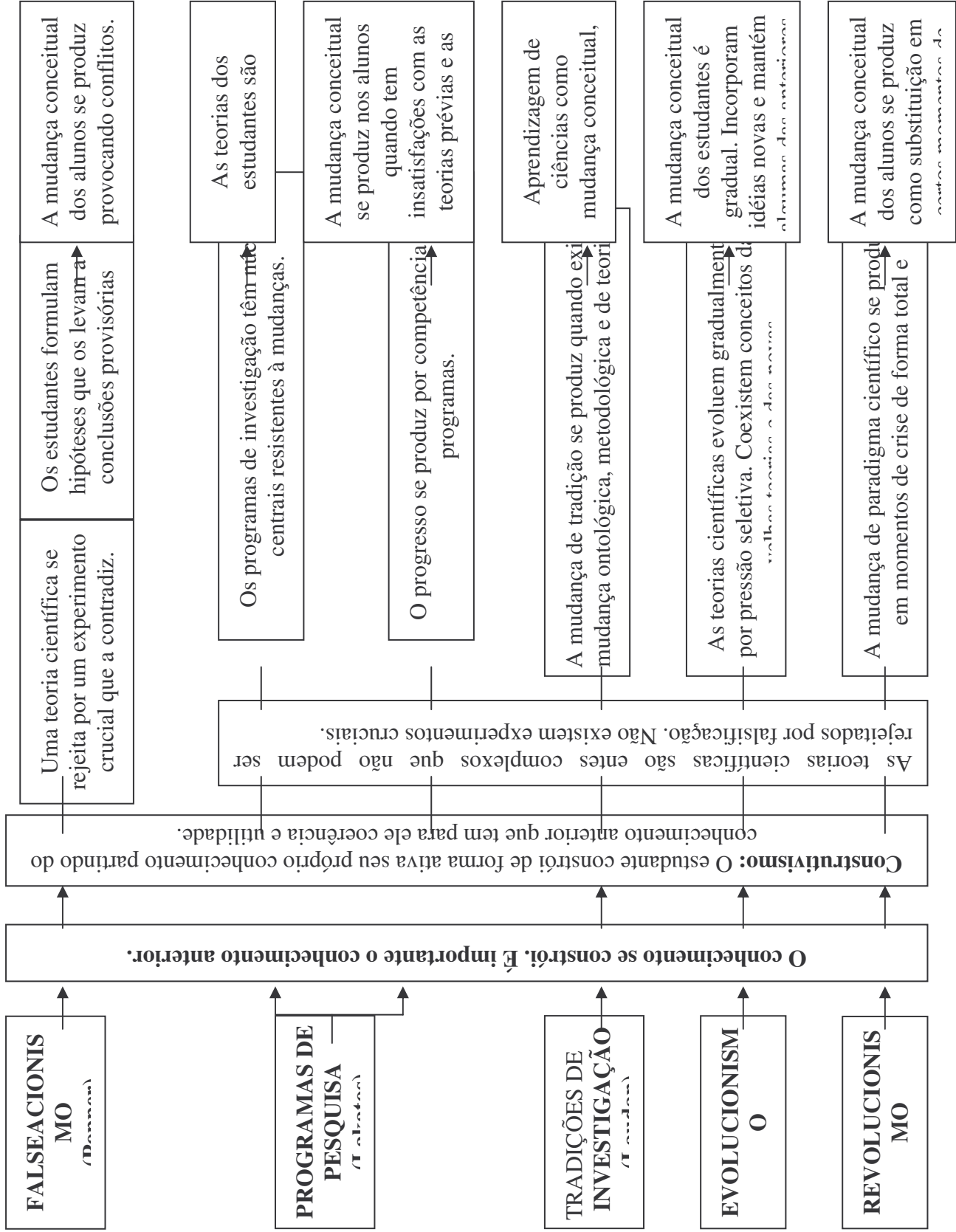


FIGURA 5.1: Analogias entre as Escolas Construtivistas e a Aprendizagem de Ciências. (Mellado &

Carracedo 1993, and Cinha 1999)

Considerado um marco importante nesta linha de pesquisa, a proposta de Posner, Strike, Hewson e Gertzog, (1982), desenvolvida com base nos trabalhos de Kuhn (1970), Lakatos (1970) e Toulmin (1972), assume a aprendizagem como uma *atividade racional, fundamentalmente voltada para a compreensão e aceitação de idéias que pareçam ser inteligíveis e racionais*. A questão básica diz respeito a como as concepções dos estudantes mudam sob o impacto das novas idéias e evidências.

Os pesquisadores sugerem que existem exemplos análogos de mudança conceitual na Ciência e no ensino de Ciências. Algumas vezes os estudantes usam conceitos que já possuem para tratar um novo fenômeno. Esta variação da primeira fase da mudança conceitual é o que os autores denominam *assimilação*. Frequentemente, entretanto, as concepções dos estudantes são inadequadas para permitir a compreensão de um novo fenômeno de maneira satisfatória. Então o indivíduo precisa substituir ou reorganizar seus conceitos centrais. Esta forma mais radical de mudança conceitual é denominada *acomodação* e representa o foco das atenções no trabalho dos autores.

Posner et. al. expressam sua teoria de acomodação em resposta à duas questões:

- 1) Sob quais condições um conceito central acaba sendo substituído por outro?
- 2) Quais aspectos da *ecologia conceitual*<sup>1.</sup> (ou seja, das concepções que os indivíduos possuem) governam a seleção de novos conceitos?

A proposta sugere quatro condições importantes que devem ser cumpridas para que a acomodação ocorra:

- 1) *Deve haver insatisfação com as concepções existentes*, já que é improvável que cientistas e estudantes realizem um mudança profunda em suas concepções sem que tenham perdido a fé em sua capacidade de resolução de problemas.
- 2) *A nova concepção deve ser inteligível*, ou seja, deve ser compreensível em sua estrutura cognitiva.

---

<sup>1.</sup> Os autores utilizam a metáfora da ecologia conceitual de Toulmin (1972) para explicar as concepções, crenças e valores dos estudantes. Nesta perspectiva, os conceitos estão estruturados em uma rede interrelacionada de tal forma que a mudança em um conceito afeta os demais. Outro aspecto importante é que como os conceitos ocupam “nichos” conceituais distintos, existe a possibilidade de uma competição entre eles.

- 3) *A nova concepção deve parecer inicialmente plausível.* Qualquer nova concepção adotada deve ao menos parecer ter capacidade para resolver os problemas gerados por suas predecessoras, caso contrário não parecerá uma escolha plausível.
- 4) *A nova concepção deve sugerir a possibilidade de um frutífero programa de pesquisa,* ou seja, deve ser útil, resolver problemas e abrir novas perspectivas.

Hashweh (1986) considera o modelo proposto por Posner et. al. coerente, mas assinala que ele falha em não enfatizar adequadamente as distinções entre os processos psicológicos que conduzem à estabilidade, aqueles que conduzem à mudança e as distinções entre estes *processos psicológicos* e as *condições externas* relacionadas à eles.

Para este pesquisador, o problema da explicação da mudança conceitual resume-se na identificação dos fatores que:

- Afetam a persistência das concepções;
- Afetam a aquisição de novas concepções;
- Afetam a reestruturação cognitiva.

Outros pesquisadores buscaram definir e explicar a mudança. O quadro abaixo ilustra alguns modelos de aprendizagem conceitual, procurando relacionar os termos utilizados em cada um dos estudos.

<b>MODELOS DE APRENDIZAGEM CONCEITUAL</b>		<b>ESTUDOS</b>
<b>AQUISIÇÃO CONCEITUAL</b>	<b>MUDANÇA CONCEITUAL</b>	

Memorização por rotina	Captura conceitual	Troca conceitual	Hewson (1991)
Crescimento	Afinação	Resolução conceitual	Rumelhard & Norman (1981)
—	Mudança evolucionária	Mudança revolucionária	West (1982)
—	Assimilação	Acomodação	PSHG (1982) Strike & Posner (1982;1986)
Desenvolvimento conceitual	Resolução conceitual	Troca conceitual	Pines & West (1986)
Acumulação	Adaptação	Reestruturação	Tiberghien (1988)

**QUADRO 5.1:** Designações alternativas para as etapas do modelo proposto por Posner.

Márias burlacas foram feitas no modelo proposto por Posner. (Santos, 1991, p.181)  
colaboradores. Uma das perguntas mais frequentes procurou esclarecer se o abandono das noções alternativas era realmente possível. As pesquisas mais recentes apontam que *a aquisição de um conceito científico não é necessariamente acompanhada da eliminação de antigas concepções.*

Solomon (1983) argumenta que as noções cotidianas que os estudantes sustentam têm origem no convívio social.

No discurso diário e através dos meios de comunicação de massa, nossas crianças são confrontadas com suposições implícitas sobre como os objetos se movem, sua energia e suas propriedades, que podem estar em conflito direto com a explicação científica que aprendem na escola. Fora do laboratório escolar, esses adolescentes estão sendo continuamente socializados em um repertório completo de explicações não científicas. Um

exame de reportagens de jornal e da linguagem cotidiana torna clara a disseminação deste processo subversivo (Solomon, 1983, p. 49).

Solomon argumenta que não há meios para extinguir as noções cotidianas e assinala que os estudantes deveriam ser capazes de pensar e operar em dois diferentes *domínios de conhecimento*<sup>2</sup> e distinguir entre eles.

Hewson e Hewson (1992) consideram os graus de mudança conceitual conforme três variedades:

- No primeiro tipo, o entendimento prévio do sujeito é extinto e substituído por uma nova concepção;
- No segundo, a mudança envolve a aprendizagem de conceitos novos que deverão estabelecer conexões com o que o aluno já sabe. É a “captura conceitual”;
- Na terceira variedade, uma concepção é escolhida. Os autores utilizam para ilustrar essa situação, a analogia da eleição para um cargo político na qual, entre dois candidatos, um torna-se prefeito, mas ambos continuam a viver na cidade.

Os autores assinalam que *muitas mudanças na visão dos estudantes assemelham-se ao último tipo, em que os indivíduos lembram continuamente da concepção mais fácil.*

---

<sup>2</sup>. Nesta perspectiva, as noções alternativas e modelos científicos seriam coexistentes.

Chi (1991) discute a possibilidade da coexistência de dois sentidos para o mesmo conceito, os quais devem ser utilizados em contextos apropriados.

Mortimer (1995) destaca que alguns autores têm tentado demonstrar a dificuldade por parte dos estudantes em abandonarem suas noções cotidianas.

O trabalho de Galili & Bar (1992), por exemplo, mostra que os mesmos estudantes que tiveram um bom desempenho em problemas familiares sobre força e movimento reverterem a um raciocínio pré-newtoniano de “movimento requer força” em questões não familiares. Os autores concluem que “essa ‘regressão’ a visões ingênuas pelos mesmos sujeitos é uma evidência a mais de que o processo de substituição de crenças ingênuas por novos conhecimentos adquiridos nas aulas de Física é complicado e muitas vezes inconsistente.” (Galili & Bar, 1992, p. 78.apud. Mortimer, 1995, p.64).

De maneira semelhante, Scott (1987), ao estudar o desenvolvimento de idéias sobre matéria entre alunos da escola secundária, conclui que ‘mudança conceitual’ não parece um título muito apropriado para o que se observa no processo. “No lugar de mudança conceitual parece haver um desenvolvimento paralelo de idéias sobre partículas e das idéias já existentes (...) O desenvolvimento paralelo de idéias resulta em explicações alternativas que podem ser empregadas no momento e situação apropriados. Não há mudança conceitual do tipo referido por Posner et. al. (1992) como uma acomodação” (Scott, 1987, p. 417. apud Mortimer, 1995, p.64).

A partir da noção de perfil epistemológico de Bachelard, Mortimer sugere que a noção de “*perfil conceitual*” fornece elementos para o

entendimento da permanência das idéias prévias entre indivíduos que passaram pelo ensino formal., deslocando a expectativa em relação ao destino de tais noções, já que se admite que não serão abandonadas. Esta noção procura descrever a diversidade de um conceito quando utilizado em circunstâncias particulares. Segundo palavras do autor, a noção de *perfil conceitual* pode ser definida como

[...] um sistema supra-individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura. Apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente, as categorias pelas quais ele é traçado são as mesmas para cada conceito. A noção de perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, uma vez que é fortemente influenciado pelas experiências distintas de cada indivíduo; e dependente do conteúdo, já que para cada conceito em particular tem-se um perfil diferente. (Mortimer, 1995, p. 70).

Este autor salienta que não se deve interpretar a ausência de mudanças radicais como um fracasso, pois as noções cotidianas sempre integram o perfil conceitual do indivíduo.

Cunha (1999), reforça esta idéia ao assinalar que a

Mudança conceitual raramente envolve um abandono completo de uma noção a favor de uma outra. Do contrário, com frequência envolve adição de novas noções, retenção de noções existentes e aquisição de um sentido do contexto no qual a nova noção é mais apropriada. (Cunha, 1999, p.87)



Mas as críticas ao modelo de mudança conceitual proposto por Posner e colaboradores, não atingem apenas a possibilidade de total abandono das noções alternativas. Outros trabalhos discutem o excesso de racionalidade que permeia o processo.

Posner e Strike (1992) reavaliaram a proposta inicial, buscando articular de forma mais coerente o modelo. Neste sentido, algumas modificações são requeridas:

- Uma enorme gama de fatores devem ser considerados na tentativa de descrever a ecologia conceitual dos estudantes. Motivos e objetivos e suas fontes institucionais e sociais devem ser consideradas.
- Concepções científicas e alternativas são partes da *ecologia conceitual* dos estudantes. Assim elas devem interagir com outros componentes.
- Concepções científicas e concepções alternativas podem existir em diferentes modelos de representação e diferentes níveis de articulação.
- Uma visão progressiva e interacionista da *ecologia conceitual* é necessária.

Os autores destacam que a tentativa de descrição da mudança conceitual não possui relações lineares e implicações diretas para o processo de ensino e este não era o objetivo do trabalho desenvolvido em 1982. Além disso, assinalam que em nenhum momento afirmaram que todos os tipos de mudança conceitual ocorrem como uma *acomodação*.

As críticas ao modelo de mudança conceitual proposto por Posner e colaboradores (1982), segundo Pintrich, Marx e Boyle (1993), baseiam-se nos aspectos relatados abaixo:

- 1) As concepções espontâneas dos estudantes desempenham um papel paradoxal no processo de mudança. De um lado, podem impedir que ela ocorra e ao mesmo tempo, formam uma base a partir da qual o indivíduo julgará a validade da nova informação.
- 2) A metáfora da *ecologia conceitual* apresenta várias limitações.
- 3) As quatro condições para que a mudança ocorra não levam em consideração os aspectos motivacionais.
- 4) Questionam a validade de se admitir o aluno como um cientista, já que este último está inserido em uma comunidade que o impele a produzir algo a partir de certos parâmetros, como problemas, métodos, normas e valores que não são compartilhados por um grupo de estudantes.

A proposta de Pintrich et. al. (1993) é ampliar o campo da mudança conceitual, inserindo aspectos do domínio que trata de fatores motivacionais. Os autores destacam que os

[...] modelos cognitivos são relevantes e úteis para conceitualizar a aprendizagem dos estudantes, mas sua crença em um modelo acadêmico de ensino frio e puramente cognitivo [...] pode não ser adequado para descrever o ensino no contexto de sala de aula. (Pintrich et. al., 1993, p.167)

Pesquisas sugerem que o processo de mudança conceitual não pode ser descrito como puramente vinculado aos aspectos lógicos e cognitivos. Se de um lado, nas comunidades de ciências naturais o conteúdo das teorias aceitas é

freqüentemente determinado por fatores lógicos e empíricos, a mudança conceitual individual em um contexto de sala de aula não opera da mesma forma. (Pintrich. et. al., 1993, p. 170).

Os autores defendem um modelo mais amplo (*hot*)\* de mudança conceitual individual, a partir de uma posição construtivista de que tal ação é influenciada por processos pessoais, motivacionais, sociais e históricos.

Os fatores subjetivos e a motivação são encarados como forma de criar um clima de comprometimento do aluno com o trabalho escolar e o conhecimento.

<b>Fatores contextuais de sala de aula</b>	<b>Fatores motivacionais</b>	<b>Fatores cognitivos</b>	<b>Condições para a mudança conceitual</b>
--	------------------------------	---------------------------	--

---

\* *Hot* em inglês significa quente, ardente, caloroso etc. No contexto do artigo mencionado indica uma forma mais ampla de encarar os processos de ensino e aprendizagem.

<b>Estruturas da tarefa</b> Autêntica Desafiadora	Objetivos principais  Crenças epistêmicas	Atenção seletiva  Ativação do conhecimento prévio	Insatisfação  Inteligibilidade
<b>Estruturas de autoridade</b> Escolha mais favorável Desafio mais favorável	Interesse pessoal  Valor de utilidade	Processamento profundo Elaboração Organização	Plausibilidade  Caráter frutífero
<b>Estruturas de avaliação</b> Baseada no crescimento Erro encarado de maneira positiva	Importância  Auto-eficácia	Resultado e solução do problema	
<b>Gerenciamento da sala de aula</b> Uso do tempo Normas de engajamento	  Crenças de controle	Avaliação metacognitiva e controle	
<b>Modelo do professor</b> Pensamento científico Disposições científicas		Controle eletivo e regulação	
<b>Suporte do professor</b> Cognição Motivação			

**QUADRO 5.2:** Fatores contextuais de sala de aula, motivacionais e cognitivos relacionados ao processo de mudança conceitual. (Pintrich et. al., 1993, p.175)

O quadro 5.2 apresentado acima, fornece uma visão geral da análise e revela a proposta do modelo dos pesquisadores. Os seguintes pontos são evidenciados:

- As relações entre os fatores cognitivos, motivacionais e de sala de aula e as quatro condições para a mudança conceitual são interativas e dinâmicas.

- Os processos cognitivos podem ser influenciados por crenças motivacionais;
- As crenças motivacionais podem ser melhor definidas como situações ou contextos específicos, contrastando com as orientações anteriores em que a motivação era considerada um traço estável da personalidade.

Pintrich e colaboradores sugerem ainda algumas condições que devem ser respeitadas no trabalho em sala de aula:

- As tarefas devem ser desafiadoras, significativas e autênticas no sentido de possuir algum importância para a vida do indivíduo fora da escola;
- O trabalho deve ser estruturado de forma que o aluno possa fazer escolhas e controlar suas próprias atividades;
- Os procedimentos de avaliação devem valorizar outros aspectos que não sejam remetidos à competição, à comparação social ou à recompensas externas.

Novas perspectivas inserem a metacognição na discussão da mudança conceitual.

Gunstone (1991), Gunstone e Northfield (1992) defendem que a mudança conceitual pode ser encarada em termos de reconhecimento, avaliação e reconstrução, ou seja, o indivíduo precisa reconhecer a existência e a natureza de

suas noções e deve então decidir se tais concepções devem ser mantidas ou se deve reconstruí-las. Toda a argumentação do autor baseia-se em três afirmações:

- Cada um de nós individualmente constrói seu próprio significado a partir da experiência.
- Isto implica que a compreensão é individual, e enquanto construções individuais, são diferentes (apesar de frequentemente apresentarem pontos em comum).
- Grande parte das construções que fazemos enquanto geramos nosso entendimento envolve relacionar novas idéias e experiências com aquilo que nós já sabemos e acreditamos.

Gunstone assinala a importante complementaridade entre *metacognição* e construtivismo:

Por metacognição eu quero dizer amalgama do conhecimento do estudante, consciência e controle, relevantes para sua aprendizagem. [...] uma aprendizagem metacognitiva apropriada é a que pode efetivamente assegurar um processo construtivista de reconhecimento, avaliação e, quando necessário, reconstrução das idéias existentes. (Gunstone, 1991, p. 135 –6)

A discussão de Dushl (1995) acerca da mudança conceitual, reconhece no docente o papel de facilitador da aprendizagem. Nesta perspectiva, três classes de informação acerca de como os indivíduos aprendem, constróem e desenvolvem o conhecimento científico e habilidades devem servir como subsídios para a ação docente. Tais aspectos são apresentados na tabela abaixo.

CAMPO	PERGUNTA BÁSICA
Conhecimento epistemológico/ científico	Que conhecimentos, provas ou dados decidimos utilizar e com que objetivo o fazemos?
Habilidades cognitivas/ pensamento	Quais estratégias de raciocínio e de construção de significado analisamos e empregamos?
Habilidades sociais/ de comunicação	Quais são as ações que favorecem a obtenção de informação sobre o conhecimento científico, habilidades de pensamento e habilidades de comunicação?

QUADRO 5.3 Campos de informação (Duschl, 1995, p. 4)

Dushl e Gitomer (1991) e Dushl (1995) revelam que o professor pode utilizar as informações dos três campos citados acima para:

- a) o planejamento, a realização e avaliação de tarefas e atividades de ensino;
- b) o acompanhamento e avaliação da capacidade dos alunos para construir significados, adquirir e comunicar o conhecimento científico e para compreender a natureza da ciência.

Nessa perspectiva, as atividades deverão permitir:

- 1) o aparecimento de idéias e explicações por parte dos alunos;
- 2) a discussão e compreensão de tais idéias e
- 3) avaliação e *feedback*.

Os autores argumentam que a chave para uma aprendizagem significativa está alicerçada na noção de *informação útil*.

A informação útil não se obtém com tarefas de ensino que tenham todos os estudantes trabalhando para obter exatamente os mesmos resultados. A informação útil não se obtém a partir de atividades (tarefas escritas ou perguntas formuladas pelo professor) nas quais se pede aos estudantes que trabalhem com escolhas limitadas [...]. E o que é mais importante, a informação útil não é obtida a partir de atividades nas quais os alunos não compreendem os objetivos [...]

Contudo, este tipo de informação é obtida quando

[...] as tarefas de ensino se baseiam em soluções a problemas autênticos e com sentido. [...] quando se consegue que os estudantes participem na estruturação do problema e na produção de afirmações que descrevam sua percepção e seu significado. [...] quando se dá aos alunos a possibilidade de analisar e discutir as produções, afirmações e idéias de cada um deles sobre os processos de investigação.[...] quando a atividade na aula se estrutura a partir de práticas científicas empregadas na comunicação, argumentação e explicação de afirmações sobre conhecimento científico, de procedimentos metodológicos e objetivos de investigação. (Duschl, 1995, p. 10)

Para que essa mudança de postura seja implementada em sala de aula, Duschl (1995) propõe uma seqüência instrucional com cinco passos,



denominada *conversao avaliativa*.<sup>1</sup> O objetivo é envolver estudantes e professores em um diálogo que incluia uma seq ncia de conflitos que gerem acordos e desacordos.

Um elemento chave da proposta são as *conversaes avaliativas* que surgem a partir da análise e da discussão da *informao útil* produzida pelos estudantes (*portifólio cultural*).

1. Fazer com que os sujeitos ou grupos participem das tarefas que produzam uma diversidade ou gama de resultados.
2. Conduzir apresentaes em público para dar uma idéia precisa da diversidade de esforos e significados.
3. Analisar e discutir as características de tal diversidade concentrando-se no objetivo.
4. Síntese em grupo: Empregar discussões para, na medida do possível, obter uma opinião consensual ou ao menos uma diminuio da diversidade original, fazendo uso dos critérios do objetivo da tarefa.
5. Aplicar o que foi aprendido em uma situao diferente. Analisar novamente uma tarefa já realizada ou empregá-la a outras novas.

QUADRO 5.4: Cinco passos em uma conversao avaliativa. (Duschl,

No quadro 5.5, Dushl e Gitomer (1991) esclarecem a noo de *portifólio cultural* através de uma comparao com a visão tradicional de ensino.

<b>Cultura Tradicional de Ciência</b>	<b>Cultura de Portifólio de Ciência</b>
<b>Visão de Ciência</b>	
Método científico estritamente	Método científico parcial

<sup>1</sup>. Ver quadro 5.4

hipotético- dedutivo. Epistemologia lógico positivista Distinção sustentável (válida) entre observação e teoria.	Concepção epistemológica  Distinção observação/teoria não persistente (sustentável).
<b>Papel do estudante</b>	
Baixo “input” do estudante/imagem não ativa Significados científicos recebidos Baixo nível de reflexão Uso de estratégias desenvolvidas pelo estudante	Alto “input” do estudante /imagem ativa Significados científicos negociados Alto grau de reflexão Uso de conhecimento estratégico /fundamentado
<b>Papel do Professor</b>	
Disseminador de Conhecimento científico Não participante na construção do conhecimento científico Rigorosa aderência ao currículo prescrito	Artífice do conhecimento científico participante na construção do conhecimento sobre ciência Modifica e adapta o currículo prescrito
<b>Objetivos do Currículo</b>	
Conhecimento científico: o que sabemos	Conhecimento sobre ciência: como e porque nós sabemos
Ênfatiza explicações inteiramente prontas	Enfatiza o crescimento do conhecimento e o desenvolvimento da explicação
Amplitude do conhecimento	Profundidade do conhecimento
Conhecimento científico básico	Conhecimento científico contextualizado
Unidades curriculares discretas (distintas)	Unidades curriculares relacionadas

*QUADRO 5.5:* Contraste entre a visão tradicional de ensino e a proposta de portfólio cultural. (Duschl e Gitomer, 1991, p. 849)

Frente a tantos modelos e discussões, o desafio do professor no ensino de ciências parece ser o de confrontar o indivíduo com suas concepções e conceitos que a produção científica oferece, propiciando momentos de reflexão e escolha.

Silveira (1992) salienta que um

[...] indicador de que a consolidação de uma nova teoria se deu no aluno é a sua capacidade de responder a situações problemáticas de ambas as formas, de acordo com as concepções alternativas e de acordo com a nova teoria, verbalizando a consciência de que essas respostas estão assentadas sobre teorias diversas. (Silveira, 1992. apud Peduzzi, 1998, p. 73).

Ainda que o papel do ensino formal não seja o de alterar simplesmente as “teorias” dos sujeitos, traduzidas em suas concepções, pela teoria científica através de uma mudança radical, este deveria ser capaz de proporcionar aos indivíduos a compreensão consciente de ambas, permitindo a aprendizagem do conceito científico através de sua diferenciação das noções cotidianas.



## 6

### A PESQUISA

Nesta pesquisa, sugerimos um plano de curso sobre o tema atração gravitacional, destinada a docentes de Física que atuam no ensino médio.

O plano de curso proposto procura refletir o central da pesquisa: como a evolução histórica dos modelos de atração entre corpos, tendo como pano de fundo a evolução dos modelos de mundo e as concepções alternativas de estudantes podem contribuir para a formação inicial e/ou continuada do docente de Física ?

Assim, o planejamento do curso foi fundamentado:

- 1) em dados sobre a evolução dos modelos de mundo, buscando evidenciar como o conceito de atração gravitacional desenvolveu-se historicamente;
- 2) nas concepções alternativas mais comuns encontradas na literatura, incluindo um breve esboço de noções diagnosticadas em uma amostra de docentes de Física de ensino médio e
- 3) em sugestões de leituras de resultados de pesquisas recentes sobre os processos de ensino e aprendizagem.

Neste processo, pretende-se fornecer aos docentes elementos de reflexão que lhes proporcionem mudanças de postura em sua prática docente através:

- 1) do questionamento da visão simplista e cumulativa da construção do conhecimento científico;
- 2) de discussões sobre a existência e persistência de concepções alternativas de estudantes e docentes;
- 3) do questionamento de sua própria prática.

Como consequência do desenvolvimento das atividades, espera-se também favorecer:

- 4) o desenvolvimento de habilidades de raciocínio e argumentação;
- 5) o desenvolvimento de habilidades de comunicação.

Esses objetivos foram estruturados a partir de três classes de informação acerca de como os indivíduos aprendem, constroem e desenvolvem o conhecimento científico e habilidades, conforme sugere Duschl (1995).

- 1) Conhecimento epistemológico/ científico;
- 2) Habilidades cognitivas/reflexão e
- 3) Habilidades de sociais / de comunicação.

No quadro 6.1 a seguir, apresentamos uma síntese da proposta.

Conhecimento epistemológico/ científico	Habilidades cognitivas/ reflexão	Habilidades sociais/ comunicação
<p>Evolução histórica do tema atração gravitacional.</p> <p>Discussão de conceitos, incluindo as relações entre eventos localizados na superfície da Terra e eventos que ocorrem no macrocosmos.</p> <p>Concepções alternativas de alunos e professores em exercício.</p> <p>Resultados de pesquisas recentes sobre os processos de ensino e aprendizagem.</p> <p>O que os docentes devem saber?</p>	<p>Desenvolvimento de estratégias que favoreçam o raciocínio, a argumentação e a construção de significados.</p> <p>Como se relacionam com o conhecimento?</p>	<p>Desenvolvimento de habilidades que favoreçam a comunicação das idéias, o respeito mútuo</p> <p>Como expressam suas idéias oralmente e por escrito?</p>

*QUADRO 6.1: Estrutura das atividades baseada nos três campos orientadores. (Cf. Duschl, 1995)*

A metodologia empregada nas atividades, utiliza elementos da seqüência instrucional proposta por Duschl (1995), denominada *conversação avaliativa*, cujo objetivo é proporcionar condições para que se estabeleça um diálogo que contemple momentos de acordo e desacordo entre professores e estudantes, facilitando o *feedback* que servirá para avaliar a informação gerada.

Ou seja, é uma discussão onde as explicações e modelos iniciais são examinados e comparados com as provas e experiências disponíveis e com o conhecimento prévio que é estabelecido como predominante. Requer que o professor: 1) domine as relações entre os conceitos da unidade; 2) esteja de acordo em que “praticar” a ciência implica em relacionar dados com explicações e comunicar estes resultados; e 3) se comprometa a utilizar as idéias dos estudantes como fonte de informação útil. (Duschl, 1995, p. 11)

Os cinco passos da conversação avaliativa são apresentados a seguir:

1. Fazer com que os sujeitos ou grupos participem das tarefas que produzam uma diversidade ou gama de resultados.
2. Conduzir apresentações em público para dar uma idéia precisa da diversidade de esforços e significados.
3. Analisar e discutir as características de tal diversidade concentrando-se no objetivo.



4. Síntese em grupo: empregar discussões para, na medida do possível, obter uma opinião consensual ou ao menos uma diminuição da diversidade original, fazendo uso dos critérios do objetivo da tarefa.
5. Aplicar o que foi aprendido em uma situação diferente. Analisar novamente uma tarefa já realizada ou empregá-la a outras novas.

Nesta perspectiva, admite-se que a aprendizagem é uma atividade essencialmente social e que, quando se ampliam as oportunidades de discussão e argumentação, também se incrementa a habilidade dos indivíduos para compreender os temas submetidos à investigação e os procedimentos de argumentação.

Wheatley (1991) argumenta que, ao contar aos outros como pensam sobre os problemas, os indivíduos elaboram e refinam seus pensamentos, aprofundando sua compreensão.

Cada atividade proposta será acompanhada de uma justificativa, envolvendo toda a discussão acerca dos objetivos do trabalho, além de uma sugestão de planejamento esboçada no quadro 6.2, elaborada a partir da proposta de Duschl (1995).

**CAMPOS ORIENTADORES**

<b>ATIVIDADE</b>	<b>Conhecimento científico/epistemológico</b>	<b>Habilidades cognitivas/reflexão</b>	<b>Habilidades sociais/comunicação</b>	<b>Seqüência instrucional (Conversação avaliativa)</b>

**QUADRO 6.2:** Planejamento das atividades a partir dos três campos orientadores e da seqüência instrucional propostos por Duschl (1995).

É importante salientar que, as respostas dos participantes às atividades poderão sinalizar para alterações a serem introduzidas na seqüência, conteúdos e outros aspectos propostos pelo curso.



# 7

## O CURSO PROPOSTO

### 7.1 Introdução

Neste capítulo, apresentamos sugestões de atividades para a elaboração de um Curso sobre o tema atração gravitacional, a partir das reflexões realizadas nos capítulos anteriores.

A ênfase da proposta é dada ao estudo o estudo das influências da evolução dos modelos de mundo na descrição dos fenômenos terrestres.

O curso foi “dividido” em quatro partes: 1) Atividades introdutórias, 2) Atividades de conhecimento epistemológico/científico, 3) Atividades de reflexão acerca dos referenciais teóricos sobre a aprendizagem e a aprendizagem em ciências e 4) Atividades de síntese das idéias debatidas.

Esta “divisão” entretanto, serve apenas para fins didáticos e, de maneira alguma, constitui-se de blocos estanques. Assim, espera-se que o desenvolvimento do Curso dependa das características do grupo, diagnosticada conforme previsto nas “atividades introdutórias”.

***PARTE 1 : Atividades introdutórias.***

A realização de tais atividades visa diagnosticar dentre outros aspectos, características da prática de ensino conduzida pelos docentes, suas visões sobre a ciência e suas concepções sobre o tema atração gravitacional.

Entendemos que esse levantamento inicial, realizado com os participantes, poderá fornecer subsídios que permitirão direcionar a seqüência de atividades, avaliar continuamente a produção individual, do grupo e do processo.

Para tanto, sugerimos alguns instrumentos que poderão ser aplicados:

- Diagnóstico das concepções dos docentes sobre o tema, a partir da utilização de questões presentes na literatura\*;
- Levantamento da visão de ciência dos docentes através de questões baseadas no VOSTS\*\* (*Views on Science-Technology-Society*). Alguns exemplos são apresentados no Anexo 1.
- Análise do planejamento de ensino utilizados pelos docentes. Caso haja consentimento por parte dos docentes, esta atividade poderá ser implementada pela comparação de uma aula (ou seqüência de aulas em situação real) gravada em videotape, ministrada por um (ou vários) dos participantes para que os conteúdos, a metodologia e demais procedimentos didáticos sejam

---

\* Conforme o breve levantamento realizado com docentes participantes do Pró-Ciência, apresentado no capítulo 2.

\*\* Aikenhead, G. S., Ryan, A. G. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. **Science Education**, 76 (6), 559 - 580.

discutidos e analisados pelo grupo. Sugerimos que estes procedimentos sejam reaplicados ao final do Curso.

### ***PARTE 2: Atividades de conhecimento epistemológico/científico.***

Estas atividades têm como objetivo permitir que o docente participante elabore em uma primeira etapa uma visão geral da construção histórica do tema *atração gravitacional* e entre em contato com algumas das concepções alternativas mais comuns. Na etapa seguinte, visam permitir o estabelecimento de relações entre os modelos estudados.

Novamente, por razões didáticas, dividimos em dois grupos as atividades propostas.

#### ***PARTE 2.A***

Atividades de estudo, leitura, debate e construção de significados realizadas ao fim de cada unidade de estudo do texto apresentado no capítulo 4 e, em alguns casos, de exemplos de concepções alternativas esboçadas no capítulo 2.

**ATIVIDADE 1: As primeiras tentativas de descrição do mundo.**

**ATIVIDADE 2: O sistema aristotélico.**

**ATIVIDADE 3: O modelo de mundo ptolomaico e o “divórcio com a realidade”.**

**ATIVIDADE 4: Algumas considerações sobre a física na Idade Média.**

**ATIVIDADE 5: O heliocentrismo de Copérnico.**

**ATIVIDADE 6: As elipses de Kepler.**

**ATIVIDADE 7: A física de Galileu.**

**ATIVIDADE 8: Os vórtices de Descartes.**

**ATIVIDADE 9: A síntese newtoniana.**

### *PARTE 2.B*

Atividades gerais sugeridas no estudo, com o objetivo de estabelecer relações entre os modelos estudados.

**ATIVIDADE 10: Queda dos corpos na superfície da Terra**

**ATIVIDADE 11: Comportamento dos corpos em queda na Terra em movimento.**

**ATIVIDADE 12: A necessidade do meio.**

**ATIVIDADE 13: A gravitação e a queda da maçã.**

As atividades mencionadas são acompanhadas de justificativas sobre a escolha do tema e objetivos, além das referências bibliográficas.

A avaliação será baseada:

- na produção individual dos participantes que deverá ser continuamente discutida;
- nas sínteses individuais que deverão ser elaboradas ao final das discussões plenárias em cada atividade.
- no desenvolvimento coletivo (do grupo) através de exposições e sínteses elaboradas.

Esta seqüência de atividades visa contemplar os quatro primeiros aspectos da seqüência instrucional proposta por Duschl (1995). O passo seguinte, referente à aplicação das novas idéias em diferentes contextos, deverá ser trabalhado em algumas atividades do curso, procurando proporcionar ao docente momentos de reflexão sobre sua prática e sobre como os conteúdos e discussões realizados podem contribuir para seu trabalho em sala de aula.

***PARTE 3: Atividades de reflexão acerca dos referenciais teóricos sobre a aprendizagem e a aprendizagem em ciências.***



Nesta etapa do curso, serão discutidos textos que serviram como fundamentação teórica desta pesquisa e outros que contemplam as discussões mais recentes sobre o ensino de ciências. Algumas sugestões são apresentadas no Anexo 2.

*PARTE 4: Atividades de síntese das idéias debatidas*

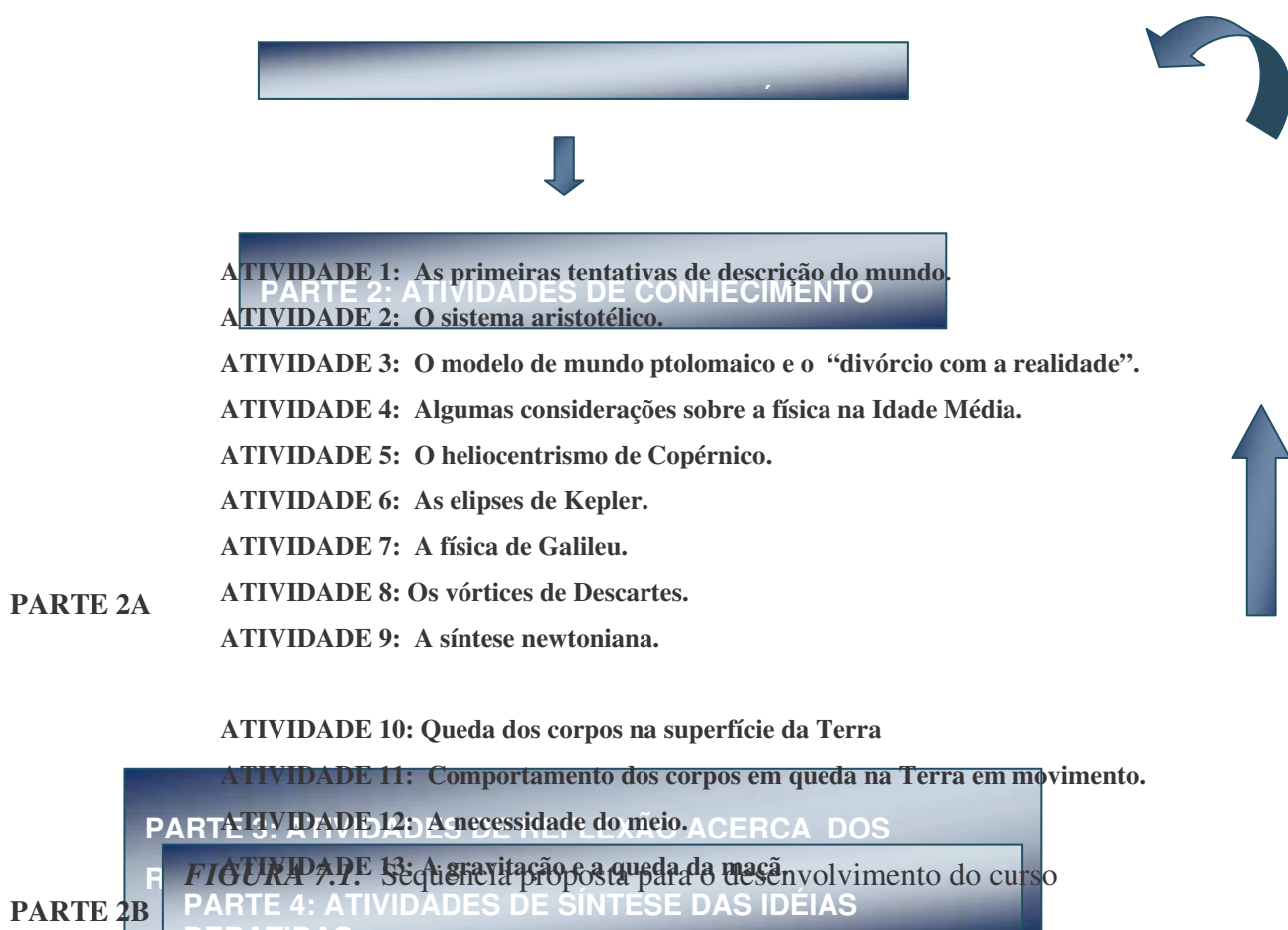
**Nesta parte do curso, será solicitado ao docente que elabore uma espécie de “retrospectiva”, incluindo os assuntos debatidos que ele considerou mais relevantes e possíveis mudanças de atitude sentidas.**

**Mediante esta retomada, o docente deverá reelaborar o planejamento de ensino que entregou por ocasião da realização das atividades introdutórias.**

**Coll et al. (1998) assinalam a importância de se desenvolver atividades mais amplas, que permitam generalizações como forma de impedir que a simples reprodução de fatos seja confundida com aprendizagem de conceitos.**

Sugerimos ainda que levantamentos semelhantes àqueles realizados na parte 1 da proposta (Atividades introdutórias), sejam novamente conduzidos.

Tais atividade visam proporcionar ao docente uma oportunidade de sintetizar as principais idéias discutidas durante a realização do curso e fornecer elementos de análise, não apenas das possíveis mudanças individuais, como também do processo como um todo.



**ATIVIDADE 1: AS PRIMEIRAS TENTATIVAS DE DESCRIÇÃO DO**

Justificativa:

**Esta atividade tem como objetivo motivar os participantes para as discussões sobre o tema e fornecer-lhes subsídios para os debates posteriores.**

**Serão apresentados alguns modelos históricos (texto 1) que deverão ser analisados juntamente com a evolução das concepções individuais alternativas (texto 2) evidenciadas por vários autores sobre o tema (Nussbaum, 1976; Nussbaum e Novik, 1979; Nardi, 1989; Baxter, 1989).**

**Tais pesquisas sugerem que a concepção de Terra esférica se desenvolve antes da noção de gravidade e que portanto, não faz muito sentido discutir o tema gravitação com indivíduos que sustentam noções de Terra plana. (Sneider e Pulos; 1983).**

**Com a realização desta atividade, estaremos privilegiando o debate sobre:**

- **como diferentes culturas conceberam nosso planeta;**
- **o caráter dinâmico da evolução dos modelos científicos e**
- **a existência de concepções alternativas.**

CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 1	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<p><b>As primeiras tentativas de descrição do mundo.</b></p>	<p>Alguns aspectos da evolução histórica dos modelos de mundo.</p> <p>Concepções alternativas sobre o tema.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Leitura individual do material apresentado.</li> <li>2. Discussão das questões em pequenos grupos.</li> <li>3. Apresentação plenária das idéias debatidas.</li> <li>4. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</li> <li>5. Aplicação das novas idéias debatidas (reflexão sobre a prática docente).</li> </ol>

QUADRO 7.1: Planejamento da atividade 1

## TEXT0 1

**Alguns exemplos das primeiras tentativas de descrição do mundo.**

A evolução dos modelos de mundo elaborados desde as mais antigas civilizações até nossa visão atual do que seja o universo, trilhou caminhos que muitas vezes esbarraram em crenças e mitos religiosos.

As descrições iniciais, fortemente arraigadas no senso comum, identificam nosso planeta como uma superfície plana.

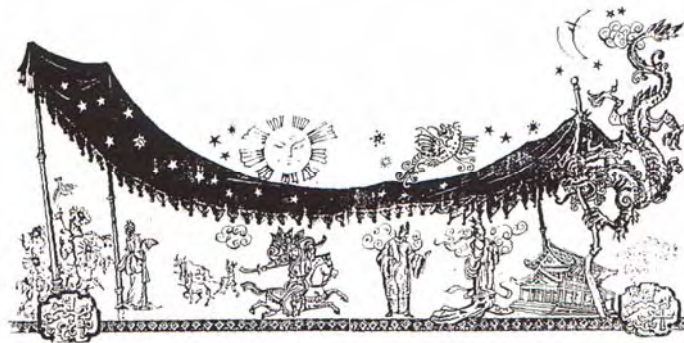
Koestler (1989) revela que o mundo descrito por babilônios, egípcios e hebreus por volta de 3000 a. C., era uma ostra com água por baixo, e por cima, suportada pelo firmamento sólido.

A “ostra” dos babilônios era redonda e a Terra era apenas uma montanha oca, posta no centro, flutuando nas águas do fundo. A cúpula superior suportava as águas que, quando filtradas, davam origem à chuva. As águas inferiores erguiam-se em fontes e nascentes. O Sol, a Lua e as estrelas moviam-se através da cúpula no sentido do Oriente para o Ocidente.

O universo egípcio era uma ostra retangular, uma espécie de caixa, que tinha por piso a Terra. O céu era uma vaca cujos pés repousavam nos quatro cantos, ou uma mulher que se apoiava nos cotovelos e joelhos. Mais tarde, tal noção de céu foi substituída por uma espécie de tampa de metal. Ao redor das paredes internas da caixa, em uma galeria elevada, corria um rio em que o Sol e a

Lua conduziam suas embarcações, entrando e desaparecendo através de várias portas. As estrelas fixas eram lâmpadas suspensas, conduzidas por deuses.

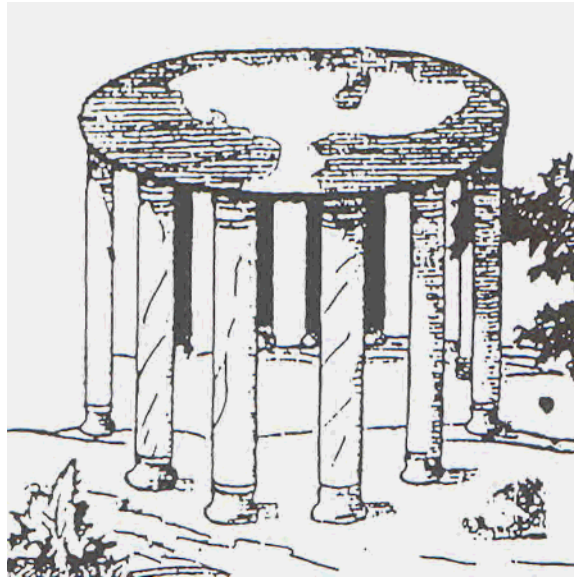
Chineses e hindus também elaboraram modelos conforme atestam as figuras descritas abaixo.



**FIGURA 4.1 :** Concepção chinesa de mundo: Terra inclinada justificaria o fato de os rios correrem em uma determinada direção. O céu é representado por um grande manto. (Tomiliné, 1985:23)

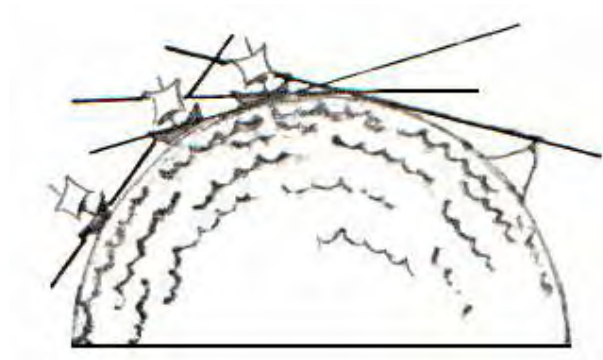


**FIGURA 4.2:** A Terra para os hindus constituía-se de um enorme disco plano, em cujo centro estava o Monte Meru, ao redor do qual giravam o Sol, a Lua e as estrelas. (Tomiliné, 1985: 21)



**FIGURA 4.3:** Outra concepção hindu: Terra plana sustentada por colunas (Lodge, 1960)

O modelo de mundo proposto pelos fenícios esboça a noção de Terra curva, como a metade de uma maçã em um prato com água. Um outro grande prato azul, virado para baixo e apoiado no primeiro, seria o céu.



**FIGURA 4.4:** Concepção dos fenícios de Terra curva: em suas experiências de navegação perceberam que os cumes dos montes mais elevados eram a primeira coisa a ser avistada como que “emergindo” da água, o que não deveria acontecer no caso de Terra plana. (Tomiliné, 1985:27)



Já no séc. VI a. C., identificado como o marco do nascimento da ciência na Grécia, Tales de Mileto (640 a 550 a. C.) acreditava ser a Terra um grande disco circular flutuando sobre a água.

Anaximandro (610 a 547 a. C.) concebeu nosso planeta como uma coluna cilíndrica, rodeada de ar, flutuando de pé no centro do universo. Não havia a necessidade de qualquer suporte, uma vez que estando no centro, não possuía qualquer direção preferencial. Os céus, esféricos, encerravam a atmosfera e era composto de várias camadas, destinadas a acomodar os corpos celestes. O Sol era descrito como um orifício na borda de uma gigantesca roda que, repleta de fogo, ao girar em torno da Terra, fazia girar também o orifício.

Anaximenes (570 a 499 a. C.), parece ter sido o criador da idéia de serem as estrelas presas a uma esfera transparente de material cristalino.

A concepção de Terra esférica, introduzida inicialmente pelos pitagóricos (séc. V a. C), parece ganhar força com Platão (428 a 347 a. C.), que concebe um universo em que os corpos celestes descrevem movimentos circulares com velocidades uniformes, e posteriormente com Aristóteles (384 a 322 a.C.).

Entretanto, admitir a esfericidade de nosso planeta tinha algumas implicações que não podiam ser explicadas naquele momento, como por exemplo, supor que homens que vivessem no hemisfério sul seriam obrigados a se deslocar de “cabeça para baixo”. O modelo aristotélico pressupõe que tal região não é habitada.

## TEXTO 2

## Como evoluem as noções dos estudantes sobre o tema?

A partir da década de 70, pesquisas realizadas têm mostrado a importância de se considerar no ensino as chamadas "idéias prévias" ou "espontâneas" \* que os alunos trazem para a sala de aula. Inúmeros foram os trabalhos desenvolvidos procurando levantar as estruturas alternativas de estudantes e professores em diversas áreas do conhecimento, buscando analisar sua influência na aquisição de conceitos.

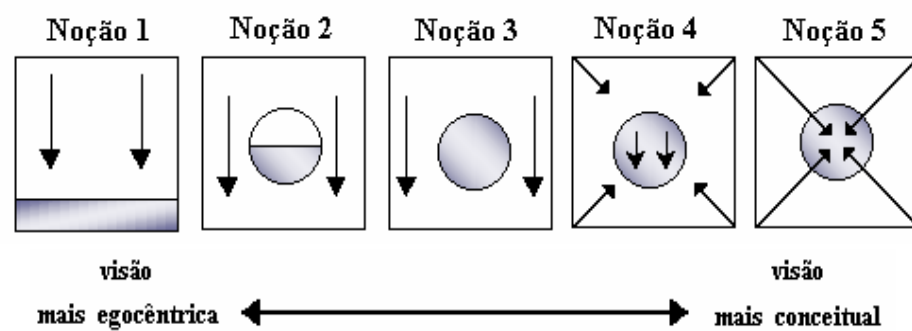
Esta extensa literatura indica

“[...] que as crianças vêm para as aulas de ciências com concepções prévias que podem diferir substancialmente das idéias a serem ensinadas, que estas concepções influenciam a aprendizagem futura e que elas podem ser resistentes à mudanças.” (Driver, 1989:p. 481).

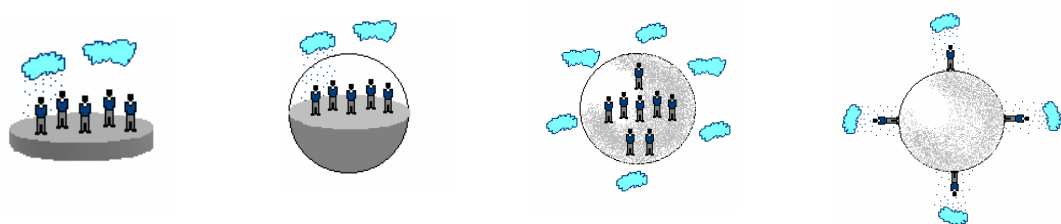
---

\* Há muitos termos utilizados pelos pesquisadores em ensino de ciências quando se referem à idéias que os alunos trazem para a sala de aula, previamente concebidas ao ensino formal, tais como: “conceitos intuitivos”, “concepções alternativas”, “idéias ingênuas” etc. Neste texto utilizaremos o termo “concepções alternativas”.

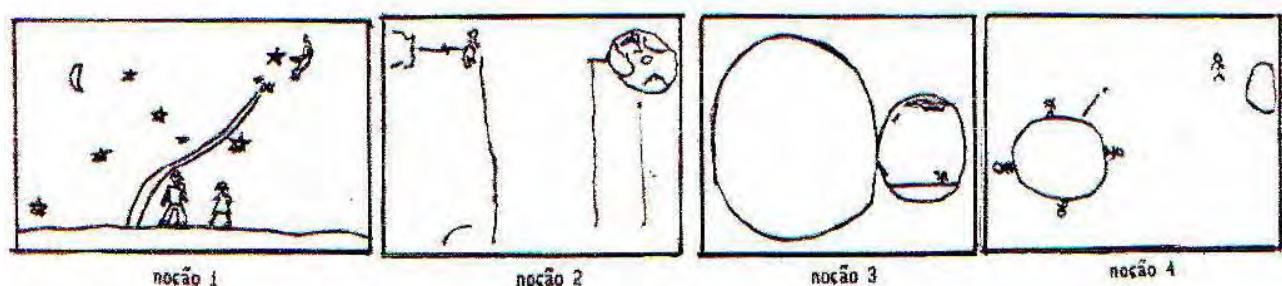
Especificamente, com relação à evolução da noção do formato e campo gravitacional do planeta Terra, as noções mais comuns são explicitadas abaixo.




**FIGURA 2.3:** Várias noções de Terra apresentadas por crianças israelenses. (Nussbaum, 1979, p. 83).



**FIGURA 2.4:** A evolução das concepções de crianças sobre o tópico “A Terra no espaço e campo gravitacional” (adaptado de Baxter, 1989, p. 505).



*FIGURA 7.2:* Seqüência de desenhos que mostram a evolução da concepção do planeta Terra, segundo os . (Nardi, 1989: 178)

## QUESTÕES

1. **Você percebe alguma semelhança entre os modelos históricos e as concepções alternativas dos estudantes?**
2. **Quais as implicações que a existência de concepções alternativas podem ter em seu trabalho pedagógico?**



# 7

## O CURSO PROPOSTO

### 7.1 Introdução

Neste capítulo, apresentamos sugestões de atividades para a elaboração de um Curso sobre o tema atração gravitacional, a partir das reflexões realizadas nos capítulos anteriores.

A ênfase da proposta é dada ao estudo o estudo das influências da evolução dos modelos de mundo na descrição dos fenômenos terrestres.

O curso foi “dividido” em quatro partes: 1) Atividades introdutórias, 2) Atividades de conhecimento epistemológico/científico, 3) Atividades de reflexão acerca dos referenciais teóricos sobre a aprendizagem e a aprendizagem em ciências e 4) Atividades de síntese das idéias debatidas.

Esta “divisão” entretanto, serve apenas para fins didáticos e, de maneira alguma, constitui-se de blocos estanques. Assim, espera-se que o desenvolvimento do Curso dependa das características do grupo, diagnosticada conforme previsto nas “atividades introdutórias”.

### ***PARTE 1 : Atividades introdutórias.***

A realização de tais atividades visa diagnosticar dentre outros aspectos, características da prática de ensino conduzida pelos docentes, suas visões sobre a ciência e suas concepções sobre o tema atração gravitacional.

Entendemos que esse levantamento inicial, realizado com os participantes, poderá fornecer subsídios que permitirão direcionar a seqüência de atividades, avaliar continuamente a produção individual, do grupo e do processo.

Para tanto, sugerimos alguns instrumentos que poderão ser aplicados:

- Diagnóstico das concepções dos docentes sobre o tema, a partir da utilização de questões presentes na literatura\*;
- Levantamento da visão de ciência dos docentes através de questões baseadas no VOSTS\*\* (*Views on Science-Technology-Society*). Alguns exemplos são apresentados no Anexo 1.
- Análise do planejamento de ensino utilizado pelos docentes. Caso haja consentimento por parte dos docentes, esta atividade poderá ser implementada pela comparação de uma aula (ou seqüência de aulas em situação real) gravada em videotape, ministrada por um (ou vários) dos participantes para que os conteúdos, a metodologia e demais procedimentos didáticos sejam

---

\* Conforme o breve levantamento realizado com docentes participantes do Pró-Ciência, apresentado no capítulo 2.

\*\* Aikenhead, G. S., Ryan, A. G. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. **Science Education**, 76 (6), 559 - 580.

discutidos e analisados pelo grupo. Sugerimos que estes procedimentos sejam reaplicados ao final do Curso.

### ***PARTE 2: Atividades de conhecimento epistemológico/científico.***

Estas atividades têm como objetivo permitir que o docente participante elabore em uma primeira etapa uma visão geral da construção histórica do tema *atração gravitacional* e entre em contato com algumas das concepções alternativas mais comuns. Na etapa seguinte, visam permitir o estabelecimento de relações entre os modelos estudados.

Novamente, por razões didáticas, dividimos em dois grupos as atividades propostas.

#### ***PARTE 2.A***

Atividades de estudo, leitura, debate e construção de significados realizadas ao fim de cada unidade de estudo do texto apresentado no capítulo 4 e, em alguns casos, de exemplos de concepções alternativas esboçadas no capítulo 2.

**ATIVIDADE 1: As primeiras tentativas de descrição do mundo.**

**ATIVIDADE 2: O sistema aristotélico.**



**ATIVIDADE 3: O modelo de mundo ptolomaico e o “divórcio com a realidade”.**

**ATIVIDADE 4: Algumas considerações sobre a física na Idade Média.**

**ATIVIDADE 5: O heliocentrismo de Copérnico.**

**ATIVIDADE 6: As elipses de Kepler.**

**ATIVIDADE 7: A física de Galileu.**

**ATIVIDADE 8: Os vórtices de Descartes.**

**ATIVIDADE 9: A síntese newtoniana.**

### *PARTE 2.B*

Atividades gerais sugeridas no estudo, com o objetivo de estabelecer relações entre os modelos estudados.

**ATIVIDADE 10: Queda dos corpos na superfície da Terra**

**ATIVIDADE 11: Comportamento dos corpos em queda na Terra em movimento.**

**ATIVIDADE 12: A necessidade do meio.**

**ATIVIDADE 13: A gravitação e a queda da maçã.**

As atividades mencionadas são acompanhadas de justificativas sobre a escolha do tema e objetivos, além das referências bibliográficas.

A avaliação será baseada:

- na produção individual dos participantes que deverá ser continuamente discutida;
- nas sínteses individuais que deverão ser elaboradas ao final das discussões plenárias em cada atividade.
- no desenvolvimento coletivo (do grupo) através de exposições e sínteses elaboradas.

Esta seqüência de atividades visa contemplar os quatro primeiros aspectos da seqüência instrucional proposta por Duschl (1995). O passo seguinte, referente à aplicação das novas idéias em diferentes contextos, deverá ser trabalhado em algumas atividades do curso, procurando proporcionar ao docente momentos de reflexão sobre sua prática e sobre como os conteúdos e discussões realizados podem contribuir para seu trabalho em sala de aula.

***PARTE 3: Atividades de reflexão acerca dos referenciais teóricos sobre a aprendizagem e a aprendizagem em ciências.***

Nesta etapa do curso, serão discutidos textos que serviram como fundamentação teórica desta pesquisa e outros que contemplam as discussões mais recentes sobre o ensino de ciências. Algumas sugestões são apresentadas no Anexo 2.

*PARTE 4: Atividades de síntese das idéias debatidas*

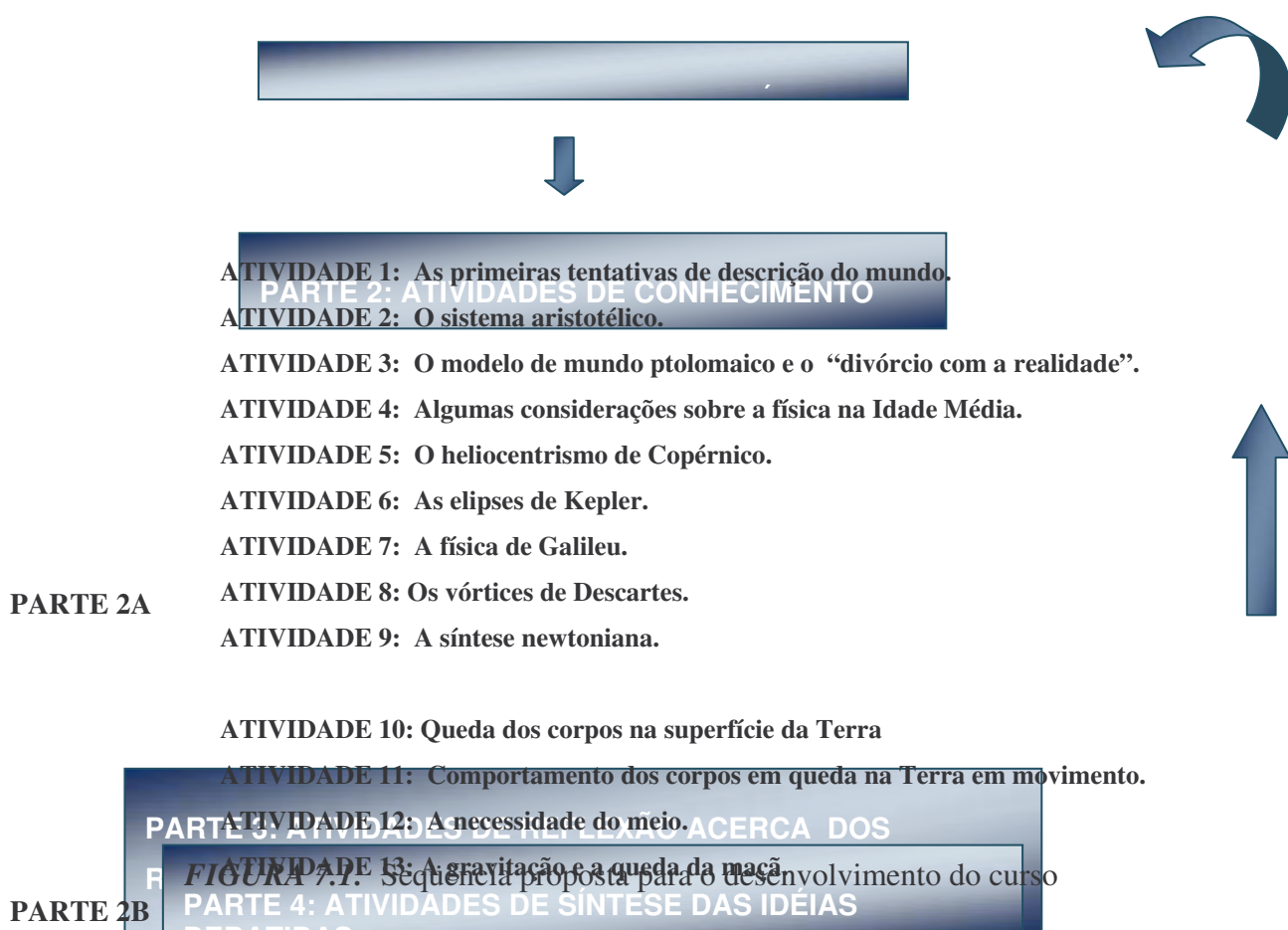
**Nesta parte do curso, será solicitado ao docente que elabore uma espécie de “retrospectiva”, incluindo os assuntos debatidos que ele considerou mais relevantes e possíveis mudanças de atitude sentidas.**

**Mediante esta retomada, o docente deverá reelaborar o planejamento de ensino que entregou por ocasião da realização das atividades introdutórias.**

**Coll et al. (1998) assinalam a importância de se desenvolver atividades mais amplas, que permitam generalizações como forma de impedir que a simples reprodução de fatos seja confundida com aprendizagem de conceitos.**

Sugerimos ainda que levantamentos semelhantes àqueles realizados na parte 1 da proposta (Atividades introdutórias), sejam novamente conduzidos.

Tais atividade visam proporcionar ao docente uma oportunidade de sintetizar as principais idéias discutidas durante a realização do curso e fornecer elementos de análise, não apenas das possíveis mudanças individuais, como também do processo como um todo.



**ATIVIDADE 1: AS PRIMEIRAS TENTATIVAS DE DESCRIÇÃO DO**

Justificativa:

**Esta atividade tem como objetivo motivar os participantes para as discussões sobre o tema e fornecer-lhes subsídios para os debates posteriores.**

**Serão apresentados alguns modelos históricos (texto 1) que deverão ser analisados juntamente com a evolução das concepções individuais alternativas (texto 2) evidenciadas por vários autores sobre o tema (Nussbaum, 1976; Nussbaum e Novik, 1979; Nardi, 1989; Baxter, 1989).**

**Tais pesquisas sugerem que a concepção de Terra esférica se desenvolve antes da noção de gravidade e que portanto, não faz muito sentido discutir o tema gravitação com indivíduos que sustentam noções de Terra plana. (Sneider e Pulos; 1983).**

**Com a realização desta atividade, estaremos privilegiando o debate sobre:**

- **como diferentes culturas conceberam nosso planeta;**
- **o caráter dinâmico da evolução dos modelos científicos e**
- **a existência de concepções alternativas.**

CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 1	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<p><b>As primeiras tentativas de descrição do mundo.</b></p>	<p>Alguns aspectos da evolução histórica dos modelos de mundo.</p> <p>Concepções alternativas sobre o tema.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<p>6. Leitura individual do material apresentado.</p> <p>7. Discussão das questões em pequenos grupos.</p> <p>8. Apresentação plenária das idéias debatidas.</p> <p>9. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</p> <p>10. Aplicação das novas idéias debatidas (reflexão sobre a prática docente).</p>

QUADRO 7.1: Planejamento da atividade 1

## TEXT0 1

**Alguns exemplos das primeiras tentativas de descrição do mundo.**

A evolução dos modelos de mundo elaborados desde as mais antigas civilizações até nossa visão atual do que seja o universo, trilhou caminhos que muitas vezes esbarraram em crenças e mitos religiosos.

As descrições iniciais, fortemente arraigadas no senso comum, identificam nosso planeta como uma superfície plana.

Koestler (1989) revela que o mundo descrito por babilônios, egípcios e hebreus por volta de 3000 a. C., era uma ostra com água por baixo, e por cima, suportada pelo firmamento sólido.

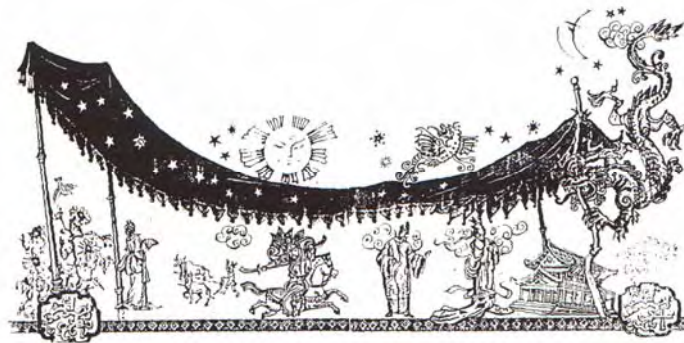
A “ostra” dos babilônios era redonda e a Terra era apenas uma montanha oca, posta no centro, flutuando nas águas do fundo. A cúpula superior suportava as águas que, quando filtradas, davam origem à chuva. As águas inferiores erguiam-se em fontes e nascentes. O Sol, a Lua e as estrelas moviam-se através da cúpula no sentido do Oriente para o Ocidente.

O universo egípcio era uma ostra retangular, uma espécie de caixa, que tinha por piso a Terra. O céu era uma vaca cujos pés repousavam nos quatro cantos, ou uma mulher que se apoiava nos cotovelos e joelhos. Mais tarde, tal noção de céu foi substituída por uma espécie de tampa de metal. Ao redor das paredes internas da caixa, em uma galeria elevada, corria um rio em que o Sol e a



Lua conduziam suas embarcações, entrando e desaparecendo através de várias portas. As estrelas fixas eram lâmpadas suspensas, conduzidas por deuses.

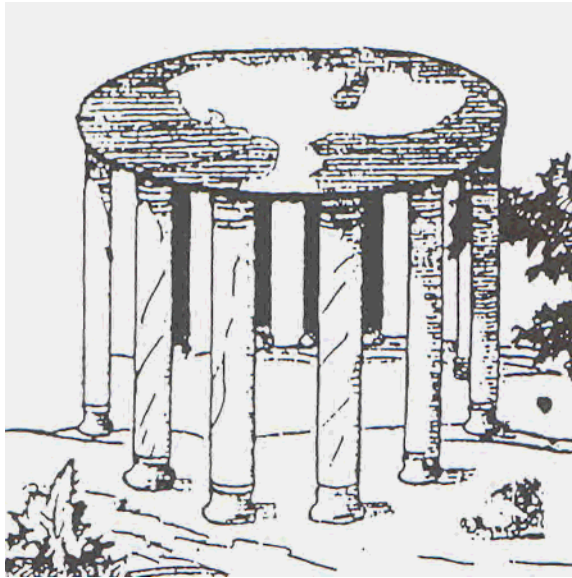
Chineses e hindus também elaboraram modelos conforme atestam as figuras descritas abaixo.



**FIGURA 4.1** : Concepção chinesa de mundo: Terra inclinada justificaria o fato de os rios correrem em uma determinada direção. O céu é representado por um grande manto. (Tomiliné, 1985:23)

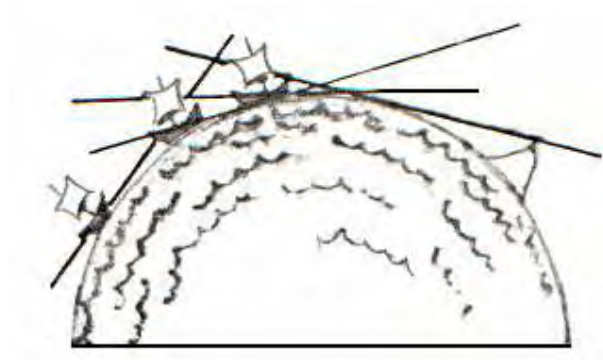


**FIGURA 4.2**: A Terra para os hindus constituía-se de um enorme disco plano, em cujo centro estava o Monte Meru, ao redor do qual giravam o Sol, a Lua e as estrelas. (Tomiliné, 1985: 21)



**FIGURA 4.3:** Outra concepção hindu: Terra plana sustentada por colunas (Lodge, 1960)

O modelo de mundo proposto pelos fenícios esboça a noção de Terra curva, como a metade de uma maçã em um prato com água. Um outro grande prato azul, virado para baixo e apoiado no primeiro, seria o céu.



**FIGURA 4.4:** Concepção dos fenícios de Terra curva: em suas experiências de navegação perceberam que os cumes dos montes mais elevados eram a primeira coisa a ser avistada como que “emergindo” da água, o que não deveria acontecer no caso de Terra plana. (Tomiliné, 1985:27)

Já no séc. VI a. C., identificado como o marco do nascimento da ciência na Grécia, Tales de Mileto (640 a 550 a. C.) acreditava ser a Terra um grande disco circular flutuando sobre a água.

Anaximandro (610 a 547 a. C.) concebeu nosso planeta como uma coluna cilíndrica, rodeada de ar, flutuando de pé no centro do universo. Não havia a necessidade de qualquer suporte, uma vez que estando no centro, não possuía qualquer direção preferencial. Os céus, esféricos, encerravam a atmosfera e era composto de várias camadas, destinadas a acomodar os corpos celestes. O Sol era descrito como um orifício na borda de uma gigantesca roda que, repleta de fogo, ao girar em torno da Terra, fazia girar também o orifício.

Anaximenes (570 a 499 a. C.), parece ter sido o criador da idéia de serem as estrelas presas a uma esfera transparente de material cristalino.

A concepção de Terra esférica, introduzida inicialmente pelos pitagóricos (séc. V a. C), parece ganhar força com Platão (428 a 347 a. C.), que concebe um universo em que os corpos celestes descrevem movimentos circulares com velocidades uniformes, e posteriormente com Aristóteles (384 a 322 a.C.).

Entretanto, admitir a esfericidade de nosso planeta tinha algumas implicações que não podiam ser explicadas naquele momento, como por exemplo, supor que homens que vivessem no hemisfério sul seriam obrigados a se deslocar de “cabeça para baixo”. O modelo aristotélico pressupõe que tal região não é habitada.

## TEXTO 2

## Como evoluem as noções dos estudantes sobre o tema?

A partir da década de 70, pesquisas realizadas têm mostrado a importância de se considerar no ensino as chamadas "idéias prévias" ou "espontâneas" \* que os alunos trazem para a sala de aula. Inúmeros foram os trabalhos desenvolvidos procurando levantar as estruturas alternativas de estudantes e professores em diversas áreas do conhecimento, buscando analisar sua influência na aquisição de conceitos.

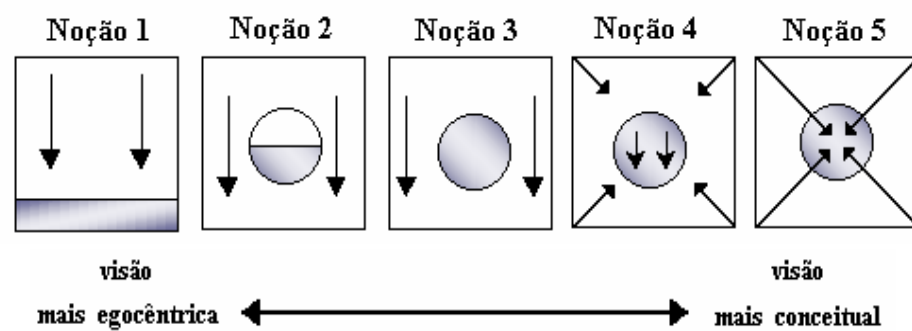
Esta extensa literatura indica

“[...] que as crianças vêm para as aulas de ciências com concepções prévias que podem diferir substancialmente das idéias a serem ensinadas, que estas concepções influenciam a aprendizagem futura e que elas podem ser resistentes à mudanças.” (Driver, 1989:p. 481).

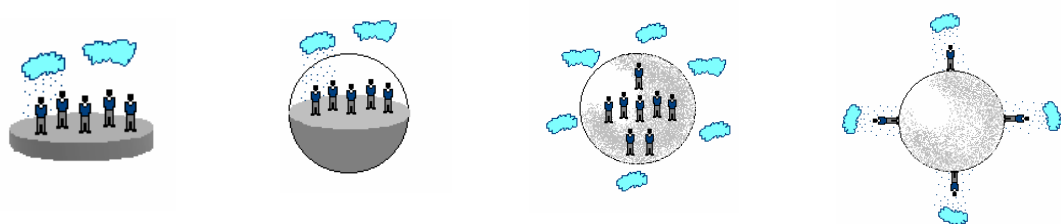
---

\* Há muitos termos utilizados pelos pesquisadores em ensino de ciências quando se referem à idéias que os alunos trazem para a sala de aula, previamente concebidas ao ensino formal, tais como: “conceitos intuitivos”, “concepções alternativas”, “idéias ingênuas” etc. Neste texto utilizaremos o termo “concepções alternativas”.

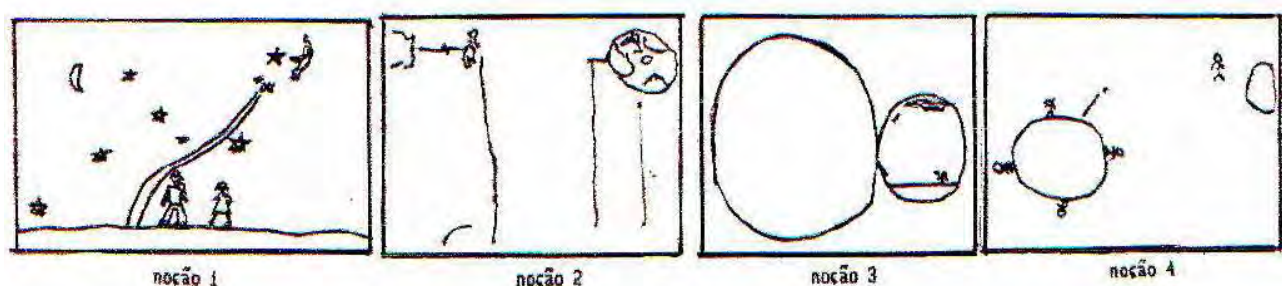
Especificamente, com relação à evolução da noção do formato e campo gravitacional do planeta Terra, as noções mais comuns são explicitadas abaixo.




**FIGURA 2.3:** Várias noções de Terra apresentadas por crianças israelenses. (Nussbaum, 1979, p. 83).



**FIGURA 2.4:** A evolução das concepções de crianças sobre o tópico “ A Terra no espaço e campo gravitacional” (adaptado de Baxter, 1989, p. 505).



*FIGURA 7.2:* Seqüência de desenhos que mostram a evolução da concepção do planeta Terra, segundo os . (Nardi, 1989: 178)

## QUESTÕES

3. Você percebe alguma semelhança entre os modelos históricos e as concepções alternativas dos estudantes?
4. Quais as implicações que a existência de concepções alternativas podem ter em seu trabalho pedagógico?



## ATIVIDADE 2: O SISTEMA ARISTOTÉLICO

### Justificativa

**Esta atividade propõe uma discussão acerca das idéias de Aristóteles sobre o movimento dos corpos, a partir de seu modelo de mundo.**

**Pretende-se fornecer subsídios para que o docente compreenda a evolução presente na física medieval e na revolução da mecânica, ocorrida no século XVII (texto 3), além de discutir a existência de concepções alternativas relatadas na literatura, semelhantes à algumas noções presentes na filosofia aristotélica (texto 4).**

**A proposta de aplicação das novas idéias (sugerida de maneira mais explícita na questão 6), visa uma reflexão sobre**



**as implicações pedagógicas dos conteúdos desenvolvidos na atividade.**

ATIVIDADE 2	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<b>O sistema aristotélico.</b>	<p>Modelo de mundo geocêntrico baseado em esferas concêntricas.</p> <p>Física aristotélica.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Leitura individual do material apresentado.</li> <li>2. Discussão das questões em pequenos grupos.</li> <li>3. Apresentação plenária das idéias debatidas.</li> <li>4. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</li> <li>5. Aplicação das novas idéias debatidas. (reflexão sobre a prática pedagógica).</li> </ol>

QUADRO 7.2: Planejamento da atividade 2

**TEXTO 3**

**O texto 3 proposto para esta atividade é apresentado nas seguintes seções do capítulo 4:**

4.4 – O universo aristotélico. (p. 69)

4.5 – Aristóteles e o movimento. (p. 72)

**QUESTÕES**

- 1. Explique como, dentro da visão de universo hierárquico de Aristóteles, a divisão de mundos representa uma possibilidade de explicação para movimentos aparentemente definidos por causas distintas.**
- 2. Dentro da filosofia aristotélica, existe a possibilidade de se cogitar algum tipo de causa externa para o movimento de queda dos corpos? Explique.**

3. **Utilizando argumentos baseados na física aristotélica, discuta a função do meio e a impossibilidade do vácuo para o movimento.**
4. **Para Aristóteles, que tipo de movimento seria produzido por uma força constante?**

#### TEXTO 4

**Algumas concepções alternativas sobre o movimento, encontradas na literatura, são semelhantes à noções presentes na filosofia aristotélica.**

Whitaker (1983) estudou as concepções de movimento de cem estudantes que cursavam diferentes níveis de cursos introdutórios de Física.

No caso de dois corpos de mesmo formato e tamanho, mas pesos diferentes, a previsão do movimento de queda para muitos estudantes considera que *a velocidade é proporcional ao peso do corpo*. Dessa forma, admite-se que o corpo mais pesado atinge o solo primeiro. Algumas justificativas apresentadas pelos estudantes:

- Porque é mais pesado.

- A bola mais pesada viajará mais rápido do que a bola mais leve.
- Existirá maior atração gravitacional na bola mais pesada.

O autor revela que entre estudantes que tinham concluído o ensino médio, o nível de respostas corretas aumentou em relação àqueles que ainda não o tinham feito. Entretanto, o ensino formal não foi capaz de modificar as noções alternativas.

Sobre o mesmo problema, o trabalho de Bar et. al. (1994) revela as previsões de estudantes em diversas faixas etárias:

4 a 5 anos - Objetos atingirão o solo ao mesmo tempo. Nesta idade, as crianças não consideram os pesos relativos como variáveis relevantes.

5 a 7 anos - Aproximadamente 50% dos indivíduos acreditam que os objetos leves precederão os pesados, argumentando que quanto mais leve for o objeto, mais rápido este será.

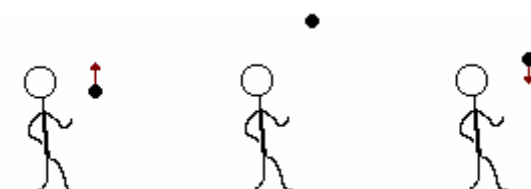
A partir dos 7 anos - O peso e a força atrativa são considerados, e a maioria afirma que o objeto mais pesado cairá primeiro.

Aos 13 anos - Um considerável número de estudantes afirma que os dois corpos atingirão o solo simultaneamente, baseados em experiências ou na leitura dos experimentos de Galileu. Tais respostas, apesar de corretas não refletem uma visão newtoniana, já que o argumento mais utilizado é que a força que atua nos dois corpos é igual.

No que diz respeito à causa da queda, este estudo conclui que cerca de 20% das crianças entre 5 e 10 anos sustentam a noção de que *um determinado objeto cai por ser pesado. Em contrapartida, corpos leves não caem.*

A concepção aristotélica de que um agente\* é necessário para manter um movimento considerado “violento” também parece estar presente em algumas noções alternativas.

No estudo realizado por Berg e Brouwer (1991), para 56,2 % da amostra pesquisada existe a necessidade de uma força “para cima” agindo sobre um corpo lançado verticalmente, durante seu movimento ascendente. O movimento de queda é encarado dentro da filosofia aristotélica como natural, e portanto não existe um agente externo causador.



**FIGURA 2.7:** Representação da concepção espontânea expressada pela maioria dos estudantes entrevistados: força resultante atuando em um corpo lançado verticalmente para cima.

(Adaptado de Berg e Brouwer, 1991, p.6)

## QUESTÕES

\* No caso da filosofia aristotélica, a função de manter um movimento “violento” quando este abandona o lançador é atribuída ao ar.

Gagliardi (1988) reconhece na determinação das representações dos estudantes um valioso instrumento para se obter seus obstáculos epistemológicos, entretanto ressalta que isto *não significa pregar um paralelismo ingênuo entre as concepções dos estudantes e os conceitos historicamente construídos.*

Saltiel e Viennot (1985) apesar de considerarem a existência de conexões, destacam certas reservas sobre a *interpretação simplista das relações entre as concepções espontâneas dos estudantes e teorias presentes na História da Ciência.* Uma delas refere-se ao fato de não se poder desprezar as diferenças culturais, sociais, políticas, econômicas e tecnológicas que nos separam dos nomes que, a seu tempo, ajudaram a construir o conhecimento que ora buscamos compreender.

Além disso, se de um lado encontramos concepções facilmente comparáveis com teorias históricas (o que parece ser o caso do “ímpetus”), existem outras noções defendidas por estudantes, como por exemplo, a que relaciona [...] a rotação da Terra, e da atmosfera, como causa da atração gravitacional, que são dificilmente identificáveis com alguma teoria histórica. (Sanmarti e Casadella, 1987: p. 56).

**5. Você acredita que um indivíduo que sustente algumas noções alternativas, como as apresentadas anteriormente, pode ser descrito como um aristotélico? Justifique.**

**6. De que maneira as informações discutidas até aqui podem ajudá-lo em sua ação docente?**





### ATIVIDADE 3: O MODELO DE MUNDO PTOLOMAICO E O “DIVÓRCIO COM A REALIDADE”

Justificativa:

**Nesta atividade pretende-se fornecer subsídios para o estudo de alguns aspectos do sistema ptolomaico e seu caráter essencialmente matemático na descrição dos fenômenos.**

**Grant (1983) salienta que o que ficou conhecido como sistema aristotélico-ptolomaico constituiu-se durante a Idade Média da adoção do modelo aristotélico simplificado\* como fisicamente provável e da astronomia ptolomaica como indispensável para “salvar as aparências”.**

---

\* Conforme apresentado no Capítulo 4, na figura 4.5

## CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 3	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<p><b>O modelo de mundo ptolomaico e o “divórcio com a realidade”.</b></p>	<p>Modelo de mundo ptolomaico. Astronomia essencialmente “técnica”, dissociada da realidade física.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Leitura individual do material apresentado.</li> <li>2. Discussão das questões em pequenos grupos.</li> <li>3. Apresentação plenária das idéias debatidas.</li> <li>4. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</li> </ol>

**QUADRO 7.3:** Planejamento da atividade 3.

## TEXTOS

**O texto 5 proposto para esta atividade é apresentado na seguinte seção do capítulo 4:**

4.6 - O modelo de mundo de Ptolomeu (p. 76)

## QUESTÃO

1. A tônica do modelo de mundo ptolomaico é a tentativa de “salvar as aparências”, ou seja ajustar um modelo explicativo aos dados observacionais, independentemente de sua realidade física. Grant (1983) assinala que epiciclos e deferentes converteram-se na base de uma astronomia “técnica”.

Existe alguma incompatibilidade entre o sistema ptolomaico e a filosofia aristotélica? Explique.



**ATIVIDADE 4: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A FÍSICA NA IDADE**

Justificativa:

Nesta atividade, sugerimos subsídios para a discussão de algumas críticas ao modelo aristotélico do movimento, que acabaram gerando o desenvolvimento da concepção de força impressa (*ímpetus*) na Idade Média.

A rejeição ao conhecimento grego e o retrocesso à concepção de Terra plana são apresentados visando uma reflexão sobre a visão ingênua de ciência neutra, presente muitas vezes em textos didáticos e nos meios de comunicação.

Alguns exemplos de concepções alternativas relacionadas ao tema também são apresentadas.

CAMPOS ORIENTADORES				
ATIVIDADE 4	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<p><b>Algumas considerações sobre a física na Idade Média.</b></p>	<p>Crítica à filosofia aristotélica.</p> <p>Influência do contexto social e religioso no desenvolvimento científico.</p> <p>Desenvolvimento da teoria do <i>ímpetus</i>.</p> <p>Concepções alternativas semelhantes à teoria do <i>ímpetus</i>.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<p>5. Leitura individual do material apresentado.</p> <p>6. Discussão das questões em pequenos grupos.</p> <p>7. Apresentação plenária das idéias debatidas.</p> <p>8. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</p>

**QUADRO 7.4:** Planejamento da atividade 4.

## TEXTOS

**O texto 6 proposto para esta atividade é apresentado na seguinte seção do capítulo 4:**

4.8 - Algumas considerações sobre a Física na Idade Média. (p. 81)

## TEXTOS

A ocorrência de concepções alternativas entre estudantes, semelhantes à teoria do *ímpetus*, têm sido relatada em diversas pesquisas (por exemplo McCloskey et al., 1980; Halloun e Hestenes, 1985; Sanmarti e Casadella, 1987; Berg e Brower, 1991 e Enderstein e Spargo, 1996).

A idéia de que deve haver algo agindo na direção do movimento para mantê-lo, parece não sofrer influência significativa após o ensino formal.

Enderstein e Spargo (1996), baseados nos resultados da pesquisa realizada na África do Sul, envolvendo 2326 estudantes com idades entre 11 e 16 anos, *sugerem inclusive um caráter universal desta crença* devido à similaridade das respostas encontradas nos diversos grupos analisados e em estudos anteriores.

O levantamento realizado pelos pesquisadores revelou que a grande maioria dos sujeitos da amostra relaciona necessariamente a presença de uma força na direção do



movimento (Cerca de 94% das respostas para a questão sugerida na figura 7.2 (a) e 78% na proposta apresentada na figura 7.2 (b)).

Os autores revelam ainda que, em muitos casos, a presença da força gravitacional foi ignorada pelos estudantes.

## QUESTÕES

1. A rejeição ao conhecimento pagão dos gregos aparece neste trecho do trabalho de Santo Agostinho, o *Enchiridion*, ou manual para os cristãos:

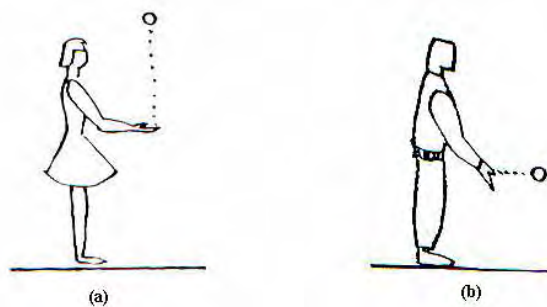
Quando, então, pergunta-se no que devemos acreditar com relação à religião, respondo que não é necessário investigar a natureza das coisas, como faziam aqueles a quem os gregos chamavam de ‘físicos’. Nem devemos ficar alarmados e amedrontados de que os cristãos ficaríamos ignorantes da força e número dos elementos, o movimento, ordem e eclipses dos corpos celestes; a forma dos céus; as espécies e a natureza dos animais, plantas, pedras, fontes, rios, montanhas; sobre cronologia e distâncias; os sinais que antecedem as tempestades; e um milhar de outras coisas que aqueles filósofos descobriram ou pensavam haver descoberto [...]. Para o cristão é suficiente acreditar que a única causa de todas as coisas criadas, sejam

celestes ou terrestres, sejam visíveis ou invisíveis, é a bondade do criador, o único Deus; e que nada existe, exceto Ele próprio, que não deva sua existência à Ele. (Agostinho, *Enchiridion*. apud Zanetic, 1995, p. 39).

O retorno à concepção de Terra plana, relatada em alguns modelos cosmológicos da época, inspirados em uma interpretação literal da Bíblia, parece indicar um posicionamento não neutro em relação ao conhecimento científico.

A partir dos subsídios fornecidos, posicione-se criticamente em relação a estes fatos.

2. Observe as figuras abaixo.



**FIGURA 7.3** : Questões utilizadas para investigar concepções que relacionam força e movimento. (Ederstein e Spargo, 1996)

A partir das discussões anteriores, explique em cada caso, a(s) força(s) que age(m) nos corpos após o lançamento até atingirem o solo, de acordo com:

- a física aristotélica;
- o *ímpetus* de Filopono;
- o *ímpetus* de Buridan;
- as concepções alternativas dos estudantes relatadas na literatura.



## ATIVIDADE 5: O HELIOCENTRISMO DE COPÉRNICO.

Justificativa:

**Esta atividade sugere um estudo sobre os principais aspectos do modelo heliocêntrico proposto por Copérnico no século XVI.**

**A proposta é revelar que o que denominamos “revolução copernicana” não representa um evento isolado. As dificuldades envolvidas na formulação do sistema copernicano (ainda atrelado à epíclis e deferentes) e os problemas que suscita ao admitir o movimento da Terra, parecem muito importantes para uma discussão que pretende desmistificar a produção do conhecimento científico.**



CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 5	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversa avaliativa)
<p><b>O heliocentrismo de Copérnico.</b></p>	<p>Sistema heliocêntrico e suas implicações.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<p>9. Leitura individual do material apresentado.            10. Discussão das questões em pequenos grupos.            11. Apresentação plenária das idéias debatidas.            12. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</p>

QUADRO 7.5: Planejamento da atividade 5.

**TEXTO 8**

**O texto 8 proposto para esta atividade é apresentado nas seguintes seções do capítulo 4:**

4.8 - O heliocentrismo de Copérnico. (p. 85)

4.9 - Problemas resolvidos pelo heliocentrismo (p. 90)

**4.10 - A articulação do novo paradigma: o início de um longo caminho (p. 95)**

**QUESTÕES**

[...] A grandeza de Copérnico está, não tanto no sistema que ele propôs, como no fato de que o sistema que propôs pôde gerar a grande revolução na Física que nós associamos a nomes como os de Galileu, Johannes Kepler e Isaac Newton. (Cohen, 1967, p.58).

1. A partir da leitura dos textos sugeridos para esta atividade, posicione-se criticamente sobre o trecho acima.



2. O prefácio de Andreas Osiander parece refletir uma postura essencialmente instrumentalista diante do conhecimento científico, ou seja, não importa a veracidade de uma teoria, desde que seja útil na descrição e previsão dos fenômenos observados. Como vimos anteriormente, esta também foi a tônica do modelo ptolomaico. Discuta as implicações desta atitude.



**ATIVIDADE 6: AS ELIPSES DE KEPLER.**

Justificativa:

**Nesta atividade, estaremos propondo uma reflexão acerca da concepção kepleriana de atração entre corpos e sua rejeição ao dogma do movimento circular.**

**A discussão deverá proporcionar uma visão (ainda que parcial) de como a evolução dos modelos de mundo incluem diferentes formas de explicação para a atração gravitacional.**

**Koyré (1973) assinala que o universo de Kepler, apesar de finito, é uma estrutura homogênea e geometrizada, onde todos os espaços são equivalentes. Tal noção contraria a doutrina aristotélica que distingue entre corpos “leves” e “pesados” , atribuindo-lhes movimentos naturais em direções preferenciais, de acordo com suas características.**

**A concepção kepleriana também se distingue da noção defendida por Copérnico, de que a gravidade deve ser uma**

**tendência a unir corpos no formato esférico. Ela inclui uma mútua atração entre corpos.**

**Uma pedra não tende para a Terra, mas é atraída por ela e a atrai também; a Terra atrai a Lua, que por sua vez atrai a Terra. (Koyré 1973: 194)**

CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 6	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<p><b>As elipses de Kepler.</b></p>	<p>Concepção kepleriana de atração entre corpos.</p> <p>Rompimento com o “dogma” do movimento circular.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<p>13. Leitura individual do material apresentado.</p> <p>14. Discussão das questões em pequenos grupos.</p> <p>15. Apresentação plenária das idéias debatidas.</p> <p>16. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</p>

QUADRO 7.6: Planejamento da atividade 6.

## TEXT0 9

**O texto 9 proposto para esta atividade é apresentado nas seguintes seções do capítulo 4:**

**4.11 - As elipses de Kepler. (p. 99)**

4.12 - As leis do movimento planetário. (p. 102)

## QUESTÕES

1. A concepção kepleriana de atração gravitacional pode ser interpretada como ação à distância? Explique.
2. Em que sentido pode-se afirmar que Kepler inaugura uma nova era na história do pensamento e transforma-se no “primeiro fazedor de leis da natureza” \*?

---

\* Koestler, 1989, p. 221.



## ATIVIDADE 7: A FÍSICA DE GALILEU.

Justificativa:

**Nesta atividade, estaremos propondo uma reflexão sobre alguns aspectos da física de Galileu, especialmente sobre sua explicação para a queda dos corpos, que o inclui na história da Gravitação.**



**CAMPOS ORIENTADORES**

<b>ATIVIDADE 7</b>	<b>Conhecimento científico/epistemológico</b>	<b>Habilidades cognitivas/reflexão</b>	<b>Habilidades sociais/comunicação</b>	<b>Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)</b>
<b>A física de Galileu.</b>	Explicação de Galileu para a queda dos corpos. Noção de inércia circular.	Análise, argumentação e síntese das idéias principais.	Comunicar e discutir as idéias.	17. Leitura individual do material apresentado. 18. Discussão das questões em pequenos grupos. 19. Apresentação plenária das idéias debatidas. 20. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.

**QUADRO 7.7:** Planejamento da atividade 7.

## TEXTOS

**O texto 10 proposto para esta atividade é apresentado nas seguintes seções do capítulo 4:**

**4.13 - Galileu e o sistema copernicano. (p. 107)**

4.14 - Algumas considerações sobre a física de Galileu. (p. 111)

## QUESTÕES

1. Discuta a contribuição do trabalho de Galileu para a explicação do movimento de queda dos corpos.
2. Explique a concepção de gravidade presente no trabalho de Galileu.
3. O texto abaixo apresenta um relato sobre a famosa ‘experiência de Pisa’.\*  
Comente-o criticamente procurando evidenciar o que poderia e o que não poderia ser demonstrado com tal procedimento.\*\*

---

\* Namer, E. Galileu, searcher of the Heavens. New York, 1931, p. 28-29. Citado por Koyré, A. (1991). Galileu e a experiência de Pisa: a propósito de uma lenda. In.: Koyré, A. (1991). **Estudos de história do pensamento científico**. 2<sup>a</sup> ed. Forense Universitária. Rio de Janeiro, 388 p.

\*\* Questão adaptada de Peduzzi, 1998.

“Quando Galileu soube que todos os outros professores exprimiam dúvidas quanto às conclusões do insolente inovador, aceitou o desafio. Solenemente, convidou aqueles graves doutores e todo o corpo de estudantes, em outras palavras, toda a Universidade, para assistir a uma de suas experiências. Mas não no seu lugar habitual. Não, este não era o bastante grande para ele. Lá fora, a céu aberto, na vasta praça da catedral. E a cátedra acadêmica claramente indicada para aquelas experiências era o Campanário, a famosa torre inclinada.

Os professores de Pisa, como os de outras cidades, tinham sempre sustentado, de acordo com o ensinamento de Aristóteles, que a velocidade da queda de um objeto era proporcional a seu peso.

Por exemplo, uma bola de ferro, pesando cem libras, e outra, pesando apenas uma libra, soltas no mesmo momento, da mesma altura, evidentemente devem tocar a Terra em instantes diferentes e, obviamente, a que pesa cem libras atingirá a Terra primeiro, pois é justamente mais pesada do que a outra.

Galileu, pelo contrário, pretendia que o peso não vinha ao caso e que ambas atingiriam a Terra no mesmo momento.

Ouvir semelhantes asserções, feitas no coração de uma cidade tão velha e sábia, era intolerável. E considerou-se necessário e urgente fazer uma afronta pública àquele jovem professor que se tinha, a si próprio, em tão alta conta, e dar-lhe uma lição de modéstia da qual se lembrasse até o fim de sua vida.

---

Doutores em trajes de veludo e magistrados, que pareciam acreditar estar indo a uma espécie de feira de aldeia, deixaram de lado suas diversas ocupações e se misturaram com os representantes da Faculdade, prontos a zombar do espetáculo, qualquer que fosse seu desfecho.

Talvez o ponto mais estranho de toda essa história seja o fato de que não tenha vindo ao espírito de ninguém fazer a experiência por si próprio antes de chegar à arena. Ousar pôr em dúvida algo que Aristóteles afirmara nada mais era do que uma *heresia* aos olhos dos estudantes daquele tempo. Era um insulto a seus mestres e a eles próprios, uma desgraça que os poderia excluir dos círculos da *elite*. É indispensável ter essa atitude constantemente presente no espírito para apreciar plenamente o gênio de Galileu, sua liberdade de pensamento e sua coragem, e também para avaliar, em sua justa medida, o sono profundo do qual a consciência humana iria ser despertada. Que esforços, que lutas eram necessárias para fazer nascer uma ciência exata!

Galileu subiu os degraus da torre inclinada, calmo e tranqüilo, a despeito dos risos e gritos da multidão. Compreendia bem a inportância da hora. No alto da torre, formulou mais uma vez a questão com toda a exatidão. Se os corpos, ao cair, chegassem ao solo ao mesmo tempo, ele seria o vitorioso; mas, se chegassem em momentos diferentes, seriam seus adversários que teriam razão.

Todos aceitaram os termos do debate. Gritavam: “Faça a prova”.

Chegara o momento. Galileu largou as duas bolas de ferro. Todos os olhares se dirigiam para o alto.

Silêncio! E o que se viu: as duas bolas partir juntas, cair juntas e  
juntas tocar a Terra ao pé da torre.”



## ATIVIDADE 8: OS VÓRTICES DE DESCARTES.

Justificativa:

O objetivo desta atividade é proporcionar um debate sobre o modelo mecânico da gravidade, proposto por René Descartes.

Para este filósofo, a admissão de que corpos pudessem atuar sobre os outros através do espaço vazio, significava atribuir à matéria “qualidades ocultas”.\*

A necessidade de que um meio atue, causando a queda dos corpos também aparece como uma das concepções mais frequentes entre estudantes e docentes\*\*.

Uma discussão mais profunda acerca da evolução dos modelos, permeada pela presença de um meio físico capaz de transmitir a força atrativa será desenvolvida na atividade 12.

---

\* Peduzzi, 1998, p.414.

\*\* Conforme levantamento realizado no capítulo 2.

CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 8	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<p><b>Os vórtices de Descartes.</b></p>	<p>Modelo mecânico para a gravidade. Princípio de inércia linear.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<p>21. Leitura individual do material apresentado. 22. Discussão das questões em pequenos grupos. 23. Apresentação plenária das idéias debatidas. 24. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</p>

QUADRO 7.8: Planejamento da atividade 8.



**TEXTO 11**

**O texto 11 proposto para esta atividade é apresentado nas seguintes seções do capítulo 4:**

**4.15 - Os vórtices de Descartes. (p. 120)**

**QUESTÃO**

1. Como pode ser explicada a gravidade e a queda dos corpos dentro do modelo mecânico proposto por Descartes?



## ATIVIDADE 9: A SÍNTESE NEWTONIANA.

Justificativa:

**Nesta atividade, apresentamos um esboço do desenvolvimento do modelo gravitacional newtoniano.**

**A síntese aqui apresentada não têm a pretensão de reconstruir, nem tampouco provar matematicamente os passos do trabalho realizado por Newton.**

**O objetivo da proposta é discutir alguns aspectos que contribuam para desmistificar a construção do conhecimento científico e auxiliem na construção individual de significados para os conceitos.**

CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 9	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<p><b>A síntese newtoniana.</b></p>	<p>Alguns aspectos do desenvolvimento do modelo gravitacional newtoniano.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<p>25. Leitura individual do material apresentado.                  26. Discussão das questões em pequenos grupos.                  27. Apresentação plenária das idéias debatidas.                  28. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.                  29. Aplicação das novas idéias debatidas. (reflexão sobre a prática pedagógica).</p>

QUADRO 7.9: Planejamento da atividade 9.

**TEXTO 12**

**O texto 12 proposto para esta atividade é apresentado nas seguintes seções do capítulo 4:**

- 4.16 – A síntese newtoniana (p. 122)
- 4.17 – As leis do movimento (p. 128)
- 4.18 – A formulação de Newton e as leis de Kepler (p. 129)
- 4.19 – Newton e a atração universal (p.131)
- 4.20 – O problema da distância (p. 135)
- 4.21 – A natureza da gravidade (p. 137)
- 4.22 – Campo gravitacional (p. 140)

**QUESTÕES**

1. Comente o posicionamento de Newton a respeito da natureza da gravidade e da possibilidade de ação à distância.
2. Como vimos anteriormente, uma das concepções mais frequentes entre os estudantes, refere-se à necessidade de uma força agindo na direção do movimento para mantê-lo. Alguns autores assinalam que os primeiros trabalhos de Newton ainda revelavam um forte influência da física do ímpetus (Steinberg et al., 1990; Westfall, 1995). Nesse sentido, a História da Ciência

poderia fornecer informações importantes sobre as mudanças requeridas para o entendimento da mecânica newtoniana (Steinberg et al., 1990).

Tais informações poderiam auxiliar os estudantes no processo de construção de conhecimentos em sala de aula? Como isto poderia ser implementado?

Explique.

3. As afirmações abaixo representam algumas das concepções alternativas mais comuns relatadas na literatura sobre o tema atração gravitacional. A partir de argumentos baseados na física newtoniana, discuta as afirmações:

Os astronautas “flutuam” no espaço;

Os corpos celestes não “caem” pois estão fora do alcance da força atrativa.



**ATIVIDADE 10· QUEDA DOS CORPOS NA SUPERFÍCIE DA TERRA****Justificativa:**

Durante o levantamento que realizamos buscando revelar as concepções mais comuns envolvendo o tema atração gravitacional, verificamos que o comportamento de corpos em queda ainda é um ponto de grande dificuldade (Whitaker, 1983; Bar et. al., 1994).

O diagnóstico realizado com docentes do ensino médio também revelou resultados semelhantes. Cerca de 23,5% da amostra considerou que no caso da queda *de dois corpos de mesmo material e massas diferentes*, o mais pesado chegaria ao solo primeiro.<sup>1</sup>

Historicamente, a queda de corpos na superfície da Terra também gerou dificuldades como foi evidenciado no capítulo 4. Utilizaremos um trecho do debate realizado por Galileu entre os personagens Simplicio (defensor do modelo aristotélico) e Salviati (porta voz do próprio Galileu) para introduzir a discussão.

**Com a realização desta atividade, estaremos privilegiando o debate sobre a noção de senso comum acerca da queda dos corpos.**

---

<sup>1</sup> Tais resultados sugerem uma certa similaridade com a explicação aristotélica para a queda dos graves. (Cf. Whitaker, 1983) .



CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 10	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (conversaão avaliativa)
<b>Queda dos corpos na superfície da terra.</b>	A explicação aristotélica sobre o movimento de queda dos corpos  X  A explicação proposta por Galileu.	Análise, comparação e argumentação.	Comunicar e discutir as idéias.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Leitura individual do material apresentado.</li> <li>2. Discussão das questões em pequenos grupos.</li> <li>3. Apresentação plenária das idéias debatidas.</li> <li>4. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</li> </ol>

QUADRO 7.10: Planejamento da atividade 10

TEXTO 13 A

2

**Simplicio:** Tanto quanto me lembro, Aristóteles se insurge contra certos antigos que introduziram o vácuo como necessário ao movimento, dizendo que se sem ele [o vácuo], o movimento não se poderia produzir. Contrariamente a isto, Aristóteles demonstra que é, [como veremos], a produção do movimento que se opõe à posição do vácuo. Assim, ele raciocina como se segue. Supõe dois casos: primeiro, o de móveis diferentes quando à gravidade, movidos no mesmo meio; segundo, o do mesmo móvel, movido em meios diversos. Quanto ao primeiro [caso], supõe que os móveis de gravidades diferentes se movem no mesmo meio com velocidades diferentes, que terão entre si a mesma proporção que suas gravidades. Assim por exemplo, um móvel dez vezes mais pesado do que outro mover-se-á dez vezes mais rapidamente. No outro caso, admite que as velocidades do mesmo móvel em meios diferentes terão, entre si, a proporção inversa da espessura, ou da densidade, desses meios. Assim, por exemplo, se se supuser que a espessura [densidade] da água é dez vezes a do ar, ele pretende que a velocidade no ar seja dez vezes maior que a velocidade na água. E dessa segunda suposição extrai uma demonstração da seguinte forma: tendo em vista que a tenuidade do vácuo ultrapassa, de uma distância infinita, a corpulência de qualquer meio cheio, por sutil que seja, todo móvel que, no meio cheio, se move em algum espaço e em algum tempo, deverá mover-se no vácuo num instante. Mas realizar um movimento num instante é impossível. Por conseguinte, em virtude [da existência] do movimento, é impossível que exista vácuo.

**Salviati:** Como se vê, o argumento é *ad hominem*, isto é, dirigido contra os que desejavam [estabelecer] o vácuo como necessário ao movimento. Assim, se eu aceitasse esse argumento como concludente, admitindo que não houvesse movimento no vácuo, a posição do vácuo, tomada absolutamente e não em relação ao movimento, não seria destruída. Mas, para dizer algo que os antigos talvez tivessem podido responder, e também para ver melhor se a demonstração de Aristóteles é concludente, parece-me que nos poderíamos opor a suas suposições e negá-las a ambas. Ora, quanto à primeira, duvido profundamente que Aristóteles tenha verificado alguma vez, pela experiência, se era verdade que duas pedras, uma delas dez vezes mais pesada do que a outra, que se deixam cair no mesmo instante de certa altura, por exemplo, de 100 braças, fossem tão diferentes quanto a suas velocidades que, no momento da chegada da maior à terra, a outra tivesse descido apenas 10 braças.

**Simplicio:** Entretanto, por sua linguagem, vê-se que ele deve ter feito. Com efeito, diz ele: *vemos o mais pesado*. Ora, este *vemos* indica que ele fez a experiência.

**Sagredo:** Mas eu, Senhor Simplicio, que fiz a prova, asseguro-lhe que uma bala de canhão que pesa 100 ou 200 libras, ou ainda mais, não antecipará sequer um palmo sua chegada à terra em relação a uma bala de mosquete que pesa apenas meia libra, caindo também de uma altura de 200 braças.

**Salviati:** Ora, mesmo sem experiência, podemos com uma demonstração breve e concludente, provar claramente que não é verdade que um móvel mais pesado se move mais rapidamente do que outro, menos pesado, estando entendido que esses móveis são da mesma matéria e, em suma, do gênero daqueles de que fala Aristóteles. Mas diga-me, Senhor Simplicio, se o Senhor admite que todo corpo [grave] que cai possui certa velocidade, determinada por sua natureza, e que não se pode nem aumentá-la nem diminuí-la, a não ser usando violência ou opondo-lhe alguma resistência.

**Simplicio:** Não se pode pôr em dúvida que o mesmo móvel, movendo-se no mesmo meio, possui uma velocidade fixada e determinada pela natureza, a qual [velocidade] não pode ser aumentada, a não ser por um novo ímpetus que lhe [ao móvel] seja conferido, ou diminuída, salvo por uma resistência que o retarde.

---

<sup>2</sup> Texto extraído de *Discursos e Demonstrações Matemáticas*. apud Koyré (1991), p. 210 e 211.

**Salviati:** Então, se tivermos dois móveis, cujas velocidades naturais são desiguais, é claro que, se juntarmos o mais lento ao mais rápido, o [movimento] do mais rápido será parcialmente retardado [pelo mais lento] e o do mais lento, parcialmente acelerado pelo mais rápido. O Senhor não está de acordo comigo quanto a essa opinião?

**Simplicio:** Parece-me que é o que deve acontecer, indubitavelmente.

**Salviati:** Mas, se assim é, e se ao mesmo tempo é verdade que uma grande pedra se move, por exemplo, com oito graus de velocidade, e uma pedra menor, com quatro, então, se se juntarem as duas, o conjunto se moverá a uma velocidade menor do que oito graus. Mas as duas pedras juntas, formam uma pedra maior do que a primeira que se movia com oito graus de velocidade. Assim, portanto, o conjunto (que é maior do que a primeira pedra sozinha) se move mais lentamente do que essa primeira pedra sozinha que é menor. O que é contrário à sua suposição. Portanto, o Senhor vê como, da sua suposição de que o móvel mais pesado se move mais rapidamente do que o menos pesado, eu concluo que o (corpo) mais pesado se move menos rapidamente.

## QUESTÕES

1. A partir do diálogo acima, discuta os argumentos utilizados por Simplicio para justificar que corpos mais pesados caem mais rapidamente.
2. Discuta a validade do argumento utilizado por Salviati para refutar a noção aristotélica de movimento.

## TEXTO 13 B

3

**Salviati:** Uma grande pedra colocada sobre uma balança adquire um peso maior não só quando se lhe superpõe uma outra, menor: mas qualquer adição, ainda que seja um pugilo de estopa, aumentará seu peso de cerca de 6 ou 10 onças, de acordo com o peso da estopa. Se, porém, de uma altitude qualquer, o Senhor deixar cair livremente a pedra com a estopa presa a ela, o senhor acredita que, nesse movimento, a estopa pesará sobre a pedra e a obrigará a acelerar seu movimento ou, talvez, o Senhor crê que ela a retardará, sustentando-a parcialmente? Sentimos o peso sobre nossos ombros quando queremos fazer oposição ao movimento que faria um certo peso colocado sobre eles. Mas, se descêssemos com a mesma velocidade com a qual esse peso grave desceria naturalmente, como o Senhor quer que ele faça pressão ou pese sobre [nós]? O Senhor não vê que isso seria querer golpear com uma lança um homem que corre à nossa frente com a mesma velocidade com a qual o Senhor o persegue, ou [com uma velocidade] ainda maior? Portanto, conclua que, por ocasião da queda livre e natural, a pedra menor não pesa sobre a grande e, conseqüentemente, não aumenta seu peso como o faz no repouso.

<sup>3</sup> Texto extraído de Discursos e Demonstrações Matemáticas. apud Koyré (1991), p.212.

**Simplício:** Admitamos que a pequena pedra não pese sobre a grande. Mas não seria de modo diferente se se colocasse a maior sobre a menor?

**Salviati:** Certamente ela aumentaria o peso [da pequena], se seu movimento fosse mais rápido. Mas já concluímos que, se a pequena fosse mais lenta, retardaria em certa medida a velocidade da maior, de tal modo que o conjunto delas se moveria menos rapidamente, mesmo sendo ele maior do que a pedra maior, o que é contrário à sua hipótese. Portanto, concluamos que os móveis, grandes e pequenos, movem-se

## QUESTÃO

1. Salviati conclui no diálogo acima que corpos constituídos de *mesmo material*, movem-se com a mesma velocidade e atingem o solo ao mesmo tempo quando abandonados de uma certa altura. Simplício, apesar dos argumentos em contrário, defende que a velocidade de queda de dois corpos segue a proporção de seus pesos.

O papel desempenhado pelo meio físico não aparece neste trecho do diálogo. Considerando a resistência do meio como um fator relevante, descreva quais seriam as previsões de Galileu e Aristóteles para o movimento de queda de dois corpos de mesmo formato e tamanho, mas constituídos de diferentes materiais.



## ATIVIDADE 11: COMPORTAMENTO DOS CORPOS EM QUEDA NA TERRA EM MOVIMENTO.

Justificativa:

**Esta atividade propõe uma discussão acerca das implicações do movimento de rotação da Terra para a queda dos corpos.**

**Alguns argumentos, a favor e contra a mobilidade de nosso planeta, serão apresentados com o intuito de evidenciar que a física aristotélica era incompatível com um sistema de mundo no qual a Terra “deixava de ocupar o centro” e “adquiria movimento”.**

CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 11	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<b>Comportamento dos corpos em queda na Terra em movimento.</b>	<p>Debate histórico sobre as implicações do movimento da Terra para o movimento dos corpos na superfície.</p> <p>Necessidade do desenvolvimento de uma física inercial.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<p>30. Leitura individual do material apresentado.</p> <p>31. Discussão das questões em pequenos grupos.</p> <p>32. Apresentação plenária das idéias debatidas.</p> <p>33. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</p>

QUADRO 7.II: Planejamento da atividade 11.

## TEXT0 14

**Grant (1983) revela que**

[...] das classes de movimento que podiam ser atribuídas à Terra, a mais significativa para a história da ciência referia-se a uma possível rotação, que serviria para explicar o movimento dos corpos celestes. (Grant, 1983:129)

**O modelo aristotélico explicava a imobilidade da Terra no centro do universo a partir de sua teoria de movimento e lugar naturais.**

**Cohen (1967) assinala alguns argumentos utilizados por Aristóteles para comprovar a imobilidade de nosso planeta.**

A fim de ter uma rotação ao redor de um eixo, cada parte da Terra teria de se mover num círculo, diz Aristóteles; mas o estudo do comportamento real de suas partes mostra que o movimento terrestre natural é ao longo de uma linha reta, em direção ao centro. “ O movimento, portanto, sendo forçado (violento) e antinatural, não poderia ser eterno; mas a ordem do mundo é eterna”. O movimento natural de todas as partículas da matéria terrestre é em direção ao centro do universo, que coincide com o centro da Terra. Como “prova” de que os corpos terrestres se movem de fato em direção ao centro da Terra, diz



Aristóteles, “vemos que os corpos que se movem em direção à Terra não se movem em linhas paralelas”, mas aparentemente sob algum ângulo, uns em relação aos outros. “Às nossas razões anteriores”, nota ele então, “podemos acrescentar que objetos pesados, se lançados para cima em linha reta, com emprego da força, voltam ao seu ponto de partida, mesmo que a força os arremesse a uma distância ilimitada”. Assim, se um corpo fosse lançado para cima em linha reta, e depois caísse em linha reta, estas direções determinadas em relação ao centro do universo, ele não tocaria a Terra exatamente no ponto em que foi lançado, se a Terra se movesse, se se afastasse durante o intervalo de tempo. (Cohen, 1967: 26-7)

**Grant (1983) explica que Ptolomeu admitia que a rotação diária da Terra serviria para explicar os movimentos celestes, entretanto não poderia explicar fenômenos físicos observados na superfície. Se a Terra realmente executasse um movimento de rotação em torno de seu eixo, todos os objetos em sua superfície pareceriam ser deixados para trás, o que era contrário à experiência. Além disso, se o ar compartilhasse o movimento com o nosso planeta, todos os corpos permaneceriam sempre nas mesmas posições relativas, e como tais fatos não eram observados, Ptolomeu deduziu que a Terra deveria estar imóvel.**

**Desde a Antigüidade encontramos argumentos a favor da mobilidade da Terra sendo apresentados por Heráclides do Ponto (388 – 310 a. C) e Aristarco de Samos (310-230 a. C.).**

**Na Idade Média, João Buridan (1300 a 1358)**

[...] acreditava que o movimento da esfera estelar e dos planetas poderiam ser explicados tanto a partir da hipótese de uma Terra estacionária e um Sol em movimento ou o inverso. (Grant, 1983:131)

**A admissão do movimento da Terra implicava que as esferas planetárias deveriam continuar a executar seus movimentos periódicos de oeste a leste, uma vez que, somente dessa maneira poderiam alterar suas posições relativas entre si ou com as estrelas fixas.**

**Grant (1983) salienta que, para Buridan, esta era uma questão de movimento relativo. Nós estaríamos tão alheios ao movimento de rotação terrestre como um passageiro de um barco em movimento que passa por outro estacionário. Se o observador no barco em movimento acredita estar em repouso, então o barco que está imóvel parecerá estar se movimentando.**

Outro argumento a favor da rotação da Terra, baseava-se no princípio aristotélico de que o repouso é um estado mais nobre do que o movimento. Dessa forma, seria mais adequado imaginar que nosso planeta estivesse em movimento. Além disso, o movimento da Terra parecia mais plausível devido à simplicidade que sugeria, ou seja, a atribuição de movimento a um pequeno planeta ao invés de enormes esferas planetárias.

Apesar de todos os argumentos desenvolvidos, Buridan não rompe com a noção tradicional, já que a rotação de nosso planeta não permitia explicar como uma flecha disparada verticalmente para cima caía sempre no mesmo local de onde foi lançada.

Nicolau Oresme (1323 – 1382) não via nenhuma incompatibilidade entre o retorno da flecha e a rotação da Terra. Considerando que a flecha compartilha o movimento com a Terra, independentemente se está depositada no solo ou se foi lançada verticalmente no ar, esta deverá retornar ao lugar do qual saiu.

Desta forma, Oresme chegou a conclusão de que era impossível determinar, com base na experiência, se eram os céus

ou a Terra que se moviam. Por considerar o problema impreciso, optou pela posição tradicional.

Grant (1983) ressalta que a argumentação de Oresme tinha um objetivo ulterior: proteger a fé cristã das demonstrações baseadas no raciocínio, na experiência e na ciência. Oresme acreditava que se não eram capazes de provar de forma conclusiva um problema científico relativamente direto, quanto mais incapazes seriam ao tentar provar dogmas cuja aceitação se baseava unicamente na fé.

Apesar de terem negado a mobilidade da Terra, os argumentos desenvolvidos por Buridan e Oresme aparecem na defesa de Copérnico ao seu sistema heliocêntrico \*.

Podemos destacar:

- a relatividade do movimento, como bem ilustra o exemplo dos barcos;
- o fato de que é melhor considerar que a Terra completa uma rotação diurna com velocidade muito menor do que a que seria requerida pelos céus.
- que o ar move-se com a Terra;

---

\* Apesar da similaridade dos argumentos, Grant (1983) revela que não há provas de que Copérnico obteve seus argumentos de fontes medievais.

- que o movimento ascendente ou descendente dos corpos é composto por elementos retilíneos e circulares; e
- que como a condição de repouso é mais nobre que o movimento, é mais plausível considerar que a Terra, imperfeita conserve sua rotação.

Martins (1994) revela que Copérnico não foi capaz de desenvolver a nova física que seu sistema heliocêntrico exigia. Sua justificativa para o fato de o movimento de rotação da Terra não produzir efeitos observáveis, apelava para o *movimento natural*.

Por estas e outras razões semelhantes, eles dizem que a Terra permanece em repouso no meio do universo e que não existe dúvida sobre isso. Mas se alguém opina que a Terra gira, ele também dirá que esse movimento é natural e não violento. Ora, coisas que estão de acordo com a natureza produzem efeitos contrários aos que são violentos. Pois as coisas às quais se aplica força ou violência se quebram ou são incapazes de subsistir por um longo tempo. Mas as coisas que são causadas pela natureza estão em uma condição correta e são mantidas em sua melhor organização. Por isso, Ptolomeu não tinha razão para temer que a Terra e todas as outras coisas da Terra se espalhassem por uma revolução causada pelo poder da natureza, que é muito diferente daquela da arte ou do que pode

resultar do gênio humano. (Copernicus, De revolutionibus, I. 8. apud. Martins, 1994, p. 196).

**A distinção entre movimentos naturais e violentos é própria da física aristotélica, incompatível com o sistema copernicano.**

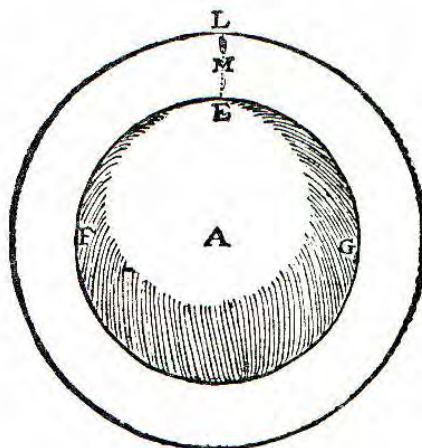
**Para William Gilbert (1540 – 1603), a Terra em sua rotação diária, levaria consigo todos os corpos que estivessem dentro de uma “esfera de influência” de origem magnética.**

**Consideremos os pontos EFG localizados na Terra, A é o centro, LE representa a zona de influências ascendentes. Como a esfera de influência se move com a Terra, então a parte da esfera representada pela linha LE segue tranquilamente a rotação.**

**Um corpo M, abandonado em L, descreverá sua trajetória sobre a linha LE, rumo ao centro.**

**A trajetória descrita por um corpo M, abandonado em L pelo corpo não pode ser representada como uma composição de movimentos, e sim como um movimento simples e direto. O corpo nunca abandona a linha LE.**

Um objeto lançado com força igual de E para F, e de E para G, alcança a mesma distância em ambas as direções,



enquanto a Terra executa seu movimento de rotação.

Figura 7.4: Características do movimento de um corpo considerando o movimento da Terra.

(Gilbert, 1600, p. 341)

A explicação proposta por Kepler atesta que, em seu movimento de rotação, a Terra arrastaria consigo todos os corpos através de uma força magnética de atração.

**Peduzzi (1998) salienta que tal explicação**

[...] não sustenta nenhuma ação à distância (à futura moda newtoniana) da Terra sobre os corpos – as pedras, as nuvens, o ar etc encontram-se

ligados à Terra por espécies de “laços ou correntes magnéticas” imperceptíveis à sensação humana. (Peduzzi, 1998: 396)

**Giordano Bruno (1548 - 1600), ao considerar o caso de um corpo abandonado do mastro de um navio em movimento, argumenta que o corpo em queda sofre influência do movimento do navio.**

E a noção de sistema físico que ele introduz, que acarreta uma ‘ligação’ entre os corpos de um sistema, mesmo na ausência de contato entre eles é decisiva na sua argumentação. Assim, quando um corpo cai sobre a Terra esta, em movimento, não o deixa para trás como imaginavam os aristotélicos porque, como Bruno salienta, todos os corpos na Terra participam de seu movimento já que, juntamente com ela, fazem parte de um mesmo sistema físico. A situação presentes na Terra é análoga à encontrada no navio em movimento. Na argumentação de Bruno percebe-se a importância do papel desempenhado pela força impressa. Sem esta ‘qualidade’, esta ‘virtude movente’, não poderia Bruno sustentar a noção de sistema físico. (Peduzzi, 1998, p. 374).

**Para Galileu (1564 – 1642), um corpo abandonado do mastro de um navio ficaria sujeito a uma composição de movimentos: na direção horizontal, movimento com velocidade**



constante e, na direção vertical, movimento com aceleração constante.

Ao abandonar o lançador, o objeto conservaria seu movimento horizontal em relação à água, já que nesta direção (desprezando a resistência do ar) não haveria nada que o fizesse alterar seu estado de movimento uniforme. Na direção vertical, o corpo ficaria sujeito apenas à ação da gravidade, de maneira que atingiria o navio em um ponto diretamente abaixo daquele em que foi solto.



*FIGURA 7.5 : “Voltará a cair?”* Esta velha gravura em madeira, extraída da correspondência de René Descartes, ilustra uma experiência proposta pelo Padre Mersenne, contemporâneo e amigo de Galileu, para verificar o comportamento dos corpos que caem. (Cohen, 1967)

- 1. Observe a figura 7.5. Considerando o movimento da Terra, explique e descreva o movimento da bala do canhão segundo a física aristotélica, do ímpetus e o modelo de Galileu\*.**
- 2. Por que a admissão de movimento para a Terra implicava na necessidade de uma nova física capaz de descrever os fenômenos observados na superfície?**

---

\* Adaptado de Peduzzi, 1998, p. 378.



## ATIVIDADE 12: A NECESSIDADE DO MEIO.

### **Justificativa:**

O objetivo desta atividade é propor uma releitura geral das concepções que embasam os modelos estudados, privilegiando o debate sobre o papel do meio físico em cada um deles.



CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 12	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<p><b>A necessidade do meio.</b></p>	<p>Concepções alternativas semelhantes à noções defendidas historicamente, relacionando a necessidade de um meio físico capaz de transmitir a força atrativa.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Leitura individual do material apresentado.</li> <li>2. Discussão das questões em pequenos grupos.</li> <li>3. Apresentação plenária das idéias debatidas.</li> <li>4. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</li> </ol>

QUADRO 7.12: Planejamento da atividade 12

## TEXTO 15

A ocorrência de concepções alternativas entre estudantes, que relacionam a necessidade de um meio físico para que a força gravitacional possa atuar, têm sido relatada em diversas pesquisas (por exemplo Halloun e Hestenes, 1985, Ruggiero et al., 1985, Nardi, 1989, Berg e Brower, 1991, Sequeira e Leite, 1991).

O trabalho de Nardi (1989) procurou verificar como ocorria a evolução das idéias responsáveis pela formação da noção de campo entre sujeitos com idades entre seis e dezessete anos.

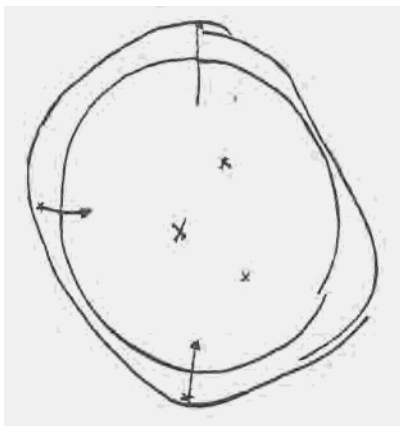
Os exemplos abaixo mostram trechos das entrevistas realizadas com estudantes da amostra:

- Limite de atuação para a força gravitacional, relacionada com a atmosfera.

*Entrevistador: Por que quando você solta uma pedra aqui (apontando para o desenho, “dentro da atmosfera”) ela cai?” TIA : “Por que aqui (dentro), tem gravidade; e aqui (fora), não tem.”(Nardi, 1989, p. 244).*

*“Entrevistador: [...] quando um objeto cai? PAI: Acho que ele só cai quando ele está, digamos... assim...quando ele está dentro...por exemplo, tem também a atmosfera que envolve a Terra, certo?...Quando ele está dentro dessa camada de atmosfera...por exemplo, se ele está aqui e se ele se jogar de um avião...ele vai*

*cair...porque ele não...provavelmente não ultrapassou essa camada da atmosfera...agora o foguete já ultrapassa...então...alguma coisa segura ele lá em cima.”* (Nardi, 1989, p. 277)



**FIGURA 2.5:** Concepção alternativa sobre o “limite” de atuação para a força atrativa. (Nardi, 1989, p. 278)

### ***Tais concepções sugerem a***

- necessidade da presença de um meio para que a força atrativa possa atuar.

Na tentativa de explicar os diferentes comportamentos entre os corpos na superfície da Terra e corpos no espaço, o entrevistado sugere a presença de um certo “grau” que permeia o espaço mas não atinge a Terra.

*“FEN. É um tipo de ar, que você fica dentro dele e fica flutuando...dentro da Terra esse aí não vai ter...dentro da Terra, então você fica no solo...”* (Nardi, 1989, p. 267).

A pesquisa de Halloun e Hestenes (1985) revela que entre os 22 alunos da amostra pesquisada, todos aceitavam a existência do vácuo, entretanto,



mantinham a concepção de que o movimento é impossível na ausência de um meio.

O trecho abaixo, extraído de uma das entrevistas, ilustra esta concepção.

“Se você solta um corpo no vácuo, ele permanece onde está...Não há movimento no vácuo...porque a gravidade não age no vácuo. A gravidade age apenas onde existe ar...um corpo cai por causa do ar que o empurra...O ar também empurra o corpo em todas as direções; isto é atrito...Mas o empurrão para baixo é maior do que o atrito e é por isso que um corpo cai” (Halloun e Hestenes, 1985, p.1060) .

Sequeira e Leite (1991) revelam a concepção de um estudante questionado sobre a causa da queda de três corpos diferentes ao mesmo tempo no vácuo:

Não existe gravidade no vácuo e portanto o peso não interfere na velocidade de queda e isto explica o mesmo tempo de queda para os três objetos. (Sequeira e Leite, 1991, p. 47)

## QUESTÃO

1. Concepções semelhantes foram defendidas historicamente.

A partir dos

subsídios apresentados durante o curso, elabore uma pequena síntese, abordando os principais

aspectos dos modelos propostos para a gravidade, procurando evidenciar o papel do meio físico e a admissão (ou rejeição) do vácuo em cada um deles.



## ATIVIDADE 13: A GRAVITAÇÃO E A QUEDA DA MACÃ.

### **Justificativa:**

O objetivo desta atividade é propor uma reflexão sobre a visão simplista da construção do conhecimento científico.

Na discussão apresentada no capítulo 3, Gil Perez (1993) relaciona algumas concepções errôneas sobre o trabalho científico que podem ser transmitidas no ensino de ciências, tais como:

- a transmissão de conhecimentos elaborados sem que se evidencie os problemas que geraram sua construção, as dificuldades encontradas e suas limitações;
- o crescimento linear dos conhecimentos, ignorando as crises e as remodelações profundas. Além disso, são freqüentemente atribuídos à gênios isolados, ignorando-se o papel do coletivo.

Neste momento do curso, após as várias atividades que já deverão ter sido realizadas, esta proposta apresenta-se como uma tentativa de sintetizar as discussões anteriores.



CAMPOS ORIENTADORES

ATIVIDADE 13	Conhecimento científico/epistemológico	Habilidades cognitivas/reflexão	Habilidades sociais/comunicação	Seqüência instrucional (Conversaão avaliativa)
<p><b>A gravitação e a queda da maçã.</b></p>	<p>Debate sobre a visão simplista da construção do conhecimento científico.</p>	<p>Análise, argumentação e síntese das idéias principais.</p>	<p>Comunicar e discutir as idéias.</p>	<p>5. Leitura individual do material apresentado. 6. Discussão das questões em pequenos grupos. 7. Apresentação plenária das idéias debatidas. 8. Síntese das elaborações, facilitando o <i>feedback</i> que servirá para avaliar a informação gerada.</p>

QUADRO 7.13: Planejamento da atividade 13

## TEXTO 16

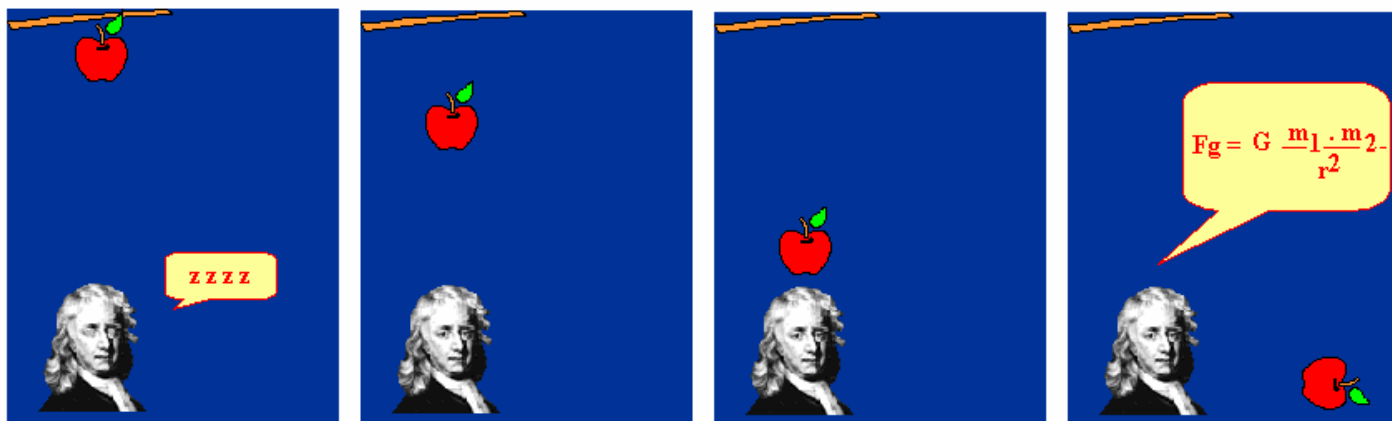
O evento da queda da maçã é descrito abaixo por John Conduit, biógrafo de Newton (e marido de sua sobrinha):

No ano de 1666, ele tornou a se afastar de Cambridge [...] indo ter com a mãe em Lincolnshire, & quando meditava num jardim, ocorreu-lhe que o poder da gravidade (que derrubava uma maçã da árvore no chão) não estava limitado a uma certa distância da Terra, mas deveria estender-se muito além do que se costumava pensar. Por que não até a Lua?, disse ele a si mesmo, & se assim fosse, isso deveria influenciar seu movimento & talvez mantê-la em sua órbita; ao que ele se pôs a calcular qual seria o efeito dessa suposição [...].  
(Westfall, 1995, p. 50 –51).

**FIGURA 7.6 :** A gravitação x a queda da maçã. \*

Westfall (1995) afirma que este relato tem contribuído para a idéia de que a gravitação universal surgiu num lampejo de discernimento, em 1666 e que ele carregou os Principia durante 20 anos totalmente concluídos, até que Halley conseguisse convencê-lo a publicá-los.

Formulado dessa maneira, esse relato não resiste a uma comparação com o



histórico dos primeiros trabalhos de Newton na mecânica. Ele banaliza a gravitação universal, tratando-a como uma idéia brilhante. [...] Não obstante, Newton deve ter tido algo em mente ao comparar a força centrífuga da Lua com a gravidade, e há todas as razões para crer que a queda de uma maçã tenha estado na origem disso. (Westfall, 1995: 51).

## QUESTÃO

1. Para esta questão, considere que o garimpeiro “descobre” o ouro e que o artista “inventa” a escultura. Algumas pessoas acham que os cientistas descobrem as teorias. Outras acham que eles as inventam. \*

\* Extraída de: <http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/history/newtongrav.html>. (15/12/1999)

A partir dos debates realizados durante o curso, analise criticamente a situação apresentada no texto 13 e na figura 7.6, justificando seus argumentos.

---

\* Adaptado de Aikenhead, G. S., Ryan, A. G. (1992).





## 8

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Nesta pesquisa procuramos desenvolver um plano de curso sobre o tema atração gravitacional, destinado a docentes de Física que atuam no ensino médio, em resposta à seguinte questão: como a evolução histórica dos modelos de atração entre corpos, tendo como pano de fundo a evolução dos modelos de mundo e as concepções alternativas de estudantes podem contribuir para a formação inicial e/ou continuada do docente de Física ?

Este não era o objetivo do projeto proposto inicialmente. As discussões sobre a existência e persistência de concepções alternativas entre indivíduos de diversas faixas etárias e sobre a utilização da História da Ciência no ensino de Física, deveriam subsidiar a construção de atividades de ensino destinadas à estudantes do ensino médio.

Entretanto, durante a realização do projeto Pró-Ciência anteriormente citado, verificamos que grande parte dos docentes participantes apresentava algumas das concepções alternativas semelhantes àquelas relatadas na literatura. Nossa amostra era composta de 34 docentes e as questões utilizadas foram extraídas de pesquisas anteriores (por exemplo, Watts e Zylbersztajn, 1981; Osborne, 1982; Ruggiero et. al., 1985 e Bar et. al., 1994).

Os resultados do breve levantamento realizado (esboçados no capítulo 2) originaram o seguinte questionamento: qual a finalidade de sugerir atividades para que o docente incorpore em sua prática de ensino, se ele mesmo possui dificuldades com relação aos conceitos?

Diante dos fatos, a reestruturação da proposta tornou-se inevitável e decidimos redirecionar a pesquisa visando privilegiar a educação (inicial e/ou) continuada de docentes.

As recomendações oriundas de encontros nacionais e internacionais de pesquisadores da área de Ensino de Ciências, de há muito vêm sinalizando para a necessidade da inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino. Tais recomendações são embasadas em resultados de pesquisas. Entretanto, poucas são as experiências pedagógicas que saem efetivamente das discussões em nível teórico e chegam à sala de aula.

Como reflexo disto, são raros os cursos de formação de professores que contemplam em suas propostas este tema. Também raros são os materiais didáticos que o contemplam; quando o fazem, geralmente utilizam a História como ilustração, o que não conduz a uma interpretação da ciência como atividade humana, não neutra e historicamente construída. Tais discussões são imprescindíveis para a construção da cidadania, um dos objetivos que está sempre presente em qualquer planejamento escolar.

Dessa forma, não tendo em sua formação discussões mais profundas sobre o tema, ao ingressar no magistério, o professor tem no livro didático, muitas vezes, sua única fonte de informação. Aliados à lacuna na formação do docente, à ausência da abordagem nos materiais didáticos que

apoiam sua ação pedagógica, fecha-se o “círculo vicioso”: os resultados da pesquisa não são contemplados.

A proposta gerada nesta pesquisa representa uma tentativa de contribuir para amenizar este quadro.

Escolhemos para tanto, *o estudo das influências da evolução dos modelos de mundo na descrição dos fenômenos terrestres*.

O planejamento do curso, elaborado numa perspectiva construtivista, procurou favorecer reflexões sobre:

- a existência e persistência de concepções alternativas entre estudantes (inclusive universitários) e docentes;
- a visão simplista e cumulativa da produção do conhecimento científico;
- a prática docente (geralmente tradicional).

O curso foi estruturado a partir de quatro momentos, cuja delimitação é puramente didática.

Num primeiro momento, sugerimos a realização de algumas atividades (*Atividades introdutórias – Parte 1*) visando diagnosticar dentre outros aspectos, características da prática de ensino conduzida pelos docentes, suas visões sobre a ciência e suas concepções sobre o tema atração gravitacional.

Entendemos que esse levantamento inicial, realizado com os participantes, poderá fornecer subsídios que permitirão direcionar a seqüência de atividades, avaliar continuamente a produção individual, do grupo e do processo.

Dessa forma, compreende-se que o curso não se constitui de blocos estanques e que, diferentes grupos de docentes terão pontos de partida,

problemas e necessidades distintas, o que exigirá que o planejamento seja constantemente revisto e adaptado, contando com a participação ativa de todos os envolvidos.

Num segundo momento, sugere-se a realização de atividades (*Atividades de conhecimento epistemológico/científico – Parte 2*) que foram elaboradas a partir da evolução histórica do tema atração gravitacional .

A proposta de utilização da História da Ciência foi desenvolvida a partir dos seguintes objetivos:

- d) Proporcionar uma visão mais adequada de ciência enquanto processo de construção;
- e) Servir como base de elementos de reflexão na definição de temas fundamentais;
- f) Revelar os obstáculos epistemológicos através da semelhança entre concepções alternativas e concepções relativas a teorias científicas do passado, quando possível.

Em alguns casos (atividades 1, 2, 4, 11 e 12), além do debate sobre os aspectos históricos, foram apresentados também, exemplos de concepções alternativas relacionadas ao tema. Este procedimento não deve ser encarado como uma tentativa de fazer relações simplistas entre as concepções construídas historicamente e o desenvolvimento individual dos estudantes (Saltiel e Viennot, 1985; Sanmarti e Casadella, 1987; Gagliardi, 1988).

O conhecimento das noções alternativas pode ser extremamente importante no processo, pois fornece ao professor informações sobre os modelos

de explicação utilizados pelos estudantes, podendo servir inclusive como elemento de reflexão sobre os modelos alternativos que o próprio docente possua.

Para o planejamento do curso, consideramos o caráter social da construção de conhecimentos em sala de aula. Pesquisas demonstram que, quando se aumentam as oportunidades de discussão e argumentação, também se incrementam as habilidades dos alunos para compreender os temas submetidos à investigação e os processos de raciocínio (Lee e Anderson, 1993; Pea, 1993, Pintrich et. al., 1993, apud Duschl, 1995).

Sugerimos, então, que as atividades sejam aplicadas tendo como referência a seqüência instrucional proposta por Duschl (1995), denominada conversação avaliativa. Os trabalhos em pequenos grupos com posterior discussão em plenário, permitirão analisar os resultados obtidos através da confrontação com aqueles obtidos por outros grupos.

**Este procedimento favorece uma das premissas construtivistas, ou seja, descentralizar o professor de seu papel de “ator principal” das relações em sala de aula, valorizando as relações entre os estudantes, imprescindíveis nos processos de ensino e aprendizagem.**

**Como consequência da aplicação desta seqüência instrucional, pretende-se facilitar o desenvolvimento de**

**habilidades cognitivas/reflexão e sociais/comunicação, através de debates, argumentação e elaboração de sínteses.**

A avaliação poderá ser baseada:

- na produção individual dos participantes que deverá ser continuamente discutida;
- nas sínteses individuais que deverão ser elaboradas ao final das discussões plenárias em cada atividade.
- na análise do desenvolvimento coletivo (do grupo) através de exposições e sínteses elaboradas.

Esta forma de apresentação das atividades visa contemplar os quatro primeiros aspectos da seqüência instrucional proposta por Duschl (1995) e apresentados no capítulo 6. O passo seguinte, referente à aplicação das novas idéias em diferentes contextos, deverá ser trabalhado em algumas atividades do curso, procurando proporcionar ao docente um questionamento sobre as implicações pedagógicas das discussões realizadas para seu trabalho em sala de aula.

O terceiro momento, (*Atividades de reflexão acerca dos referenciais teóricos sobre a aprendizagem e a aprendizagem em ciências – Parte 3*) visa fornecer ao docente elementos que fundamentem sua mudança de postura diante da prática educacional.

No quarto momento, (*Atividades de síntese das idéias debatidas – Parte 4*), sugerimos que levantamentos semelhantes àqueles realizados na parte 1 da proposta, sejam novamente conduzidos. Além disso, deverá ser pedido ao docente que, mediante as discussões realizadas durante o curso, reelabore o planejamento de ensino que entregou no início das atividades.

Tais atividade visam proporcionar ao docente oportunidades para sintetizar as principais idéias discutidas durante a realização do curso e fornecer elementos de análise, não apenas das possíveis mudanças individuais, como também do processo como um todo.

Dessa forma, o curso proposto neste trabalho tentou incorporar os resultados de pesquisas recentes sobre os processos de ensino e aprendizagem em ciências, sobre as concepções alternativas e sobre a utilização da História da Ciência no ensino de Ciências, buscando sintetizar tais elementos com a finalidade de contribuir na formação (inicial e/ou) continuada do docente de Física.



Podemos afirmar que a História da Ciência, ocupa um lugar de destaque nesta proposta, constituindo o pano de fundo sobre o qual as discussões deverão ser realizadas.

A sugestão de aplicação do questionário VOSTS, para identificar algumas concepções dos professores sobre a construção do conhecimento científico, parte da idéia de que a visão que se tem do conhecimento pode influenciar a prática docente.

Robilotta (1988) salienta que, encarar a ciência como um produto acabado, confere ao conhecimento científico um falsa simplicidade que se revela como uma barreira a qualquer construção, uma vez que contribui para a formação de uma atitude ingênua frente à ciência. Consequentemente, como afirmam Castro e Carvalho (1992), *o conhecimento científico passa a ser encarado como algo óbvio, passível de mera transmissão.*

Ao propor momentos de reflexão sobre como o conceito de gravidade foi elaborado historicamente, ampliamos a discussão, não apenas centrada no conhecimento em si, mas também nas dificuldades enfrentadas em sua elaboração e nas

diversas condicionantes presentes no contexto, que interferem no processo de construção do conhecimento científico.

Essa proposta de desmistificar a construção do conhecimento é contemplada (implícita ou explicitamente) em todas as atividades sugeridas na parte 2 deste estudo. Na atividade 13, por exemplo, o docente deve analisar um pequeno texto, que acompanha uma história em quadrinhos. O conteúdo dos quadrinhos revela um Newton indiferente e sonolento sendo subitamente acordado por uma maçã e formulando imediatamente sua Lei da Gravitação. A proposta da atividade 9, inclui uma discussão sobre a noção de força impressa presente nos trabalhos iniciais de Newton.

É importante salientar que a mudança de postura que esperamos não pode ser alcançada sem uma fundamentação teórica adequada. As sugestões de leituras e discussões propostas na parte 3 desta pesquisa, deverão embasar as críticas ao modelo tradicional de ensino e permitir que o docente adquira conhecimentos teóricos sobre a aprendizagem e a aprendizagem de ciências.

**Entendemos que este plano de curso proposto poderá ser discutido de forma mais profunda no momento em que for aplicado em situações concretas, fornecendo o *feedback* necessário para sua avaliação, gerando importantes elementos para o redirecionamento dos objetivos, conteúdos e estratégias agora sugeridos.**

Entendemos também que os resultados desta pesquisa, após analisados num contexto real, poderão ser estendidos para outras situações de ensino, por exemplo, utilizando a abordagem aqui proposta para o ensino de outros tópicos da Física.

De uma maneira mais ampla, pode-se trabalhar através desta abordagem conteúdos de ciências em geral, uma vez que os pressupostos teóricos aqui empregados, tanto em relação a questões de ensino e de aprendizagem quanto àquelas relativas à inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino, podem ser perfeitamente utilizados em situações de ensino e/ou aprendizagem das diversas áreas da Ciência.



## 9

**BIBLIOGRAFIA**

- Aikenhead, G. S., Ryan, A. G. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. **Science Education**, v. 76, n.6, p. 559 - 580.
- Bar et. al. (1994). Children's Concepts about weight and free fall. **Science Education**, v.78, n.2, p 149 – 169.
- Baxter, J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. **International Journal of Science Education**, v.11, p. 502 - 513.
- Berg, T., Brower, W. (1991). Teacher awareness of student alternative conceptions about rotational motion and gravity. **Journal of Research in Science Teaching**, 28(1): 3 - 18.
- Bernal, J. D. (1965). **Science in History**. Penguin Books, London, v1.
- Bernal, J. D. (1969). **Science in History**. Penguin Books, London, v2.
- Cajori, F. (1990). Apêndice histórico e explicativo. In.: Newton, I. **Principia: princípios matemáticos de filosofia natural**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 292 p.
- Castro, R. S. e Carvalho, A. M. P. (1992). História da Ciência: como usá-la num curso de segundo grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n.3, p. 225 – 237.
- Chalmers, A. F. (1993). **O que é ciência afinal**. Brasiliense. São Paulo, 225 p.
- Chi, M.T.H. (1991). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In.: R. Giere (Ed.) **Cognitive models of Science: Minnesota Studies in the philosophy of Science**. Minnesota: University of Minnesota Press.

- Cohen, I. B. (1967). **O nascimento de uma nova física**. São Paulo: Edart, 203 p.
- Coll, C. et. al. (1998). **Os conteúdos na reforma: ensino e aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes**. Porto Alegre. Artes Médicas, 182 p.
- Cunha, A. M. O. (1999). A mudança conceitual de professores num contexto de educação continuada. Tese de doutorado. 479p.
- Driver, R. (1989). Student's conceptions and the learning of science. **International Journal of Science Education**, 11, special issue, p.481 - 490.
- Duschl, R. A. e Gitomer, D. H. (1991). Epistemological Perspectives on conceptual change: implications for educational practice. **Journal of Research in Science Teaching**. v.28, n.9, p. 839 – 858.
- Duschl, R. A. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.13, n.1, p. 3- 14.
- Enderstein, L. G. e Spargo, P. E. (1996) Beliefs regarding force and motion: a longitudinal and cross-cultural study of South African school pupils. **International Journal of Science Education**. v. 18, n. 4, p. 479 – 492.
- Fishbane, P. M.; Gasiorowics, S. e Thornton, S. T. (1996). **Physics for Scientists and Engineers**. 2<sup>nd</sup>. Edition , Prentice Hall, New Jersey, 1280p.
- Gagliardi, R. e Giordan, A. (1986). La história de las ciencias : una herramienta para la enseñanza. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.4, n.3, p. 253 –258.
- Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciências en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.6, n.3, p. 291 – 296.
- Gil Perez (1991). Que hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? (Intento de síntesis de las aportaciones de la investigación didáctica). **Enseñanza de Las Ciencias**, v. 9, n.1, p. 69 – 77.
- Gil Perez, D. (1993). Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.11, n.2, p.197 – 212.
- Gilbert, W. (1600). **De Magnet**. Trad. Fleury Mottelay. New York, 1958, Dover Publication Inc. 368 p.

- Grant, E. (1983). **La ciencia física en la Edad Media**. Fondo de Cultura Económica, México. 241 p.
- Gunstone, R. (1991). Constructivism and metacognition: theoretical issues and classroom studies. In: Duit, R. (Ed.). Proceedings of an international workshop held at the University Bremen. Bremen: March 4 – 8. Kiel: Inst. Für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Univ. , 1992, p. 129 – 140.
- Gunstone, R. F., Northfield, J. (1992). **Conceptual change in teacher education: the centrality of metacognition**. Paper given at the meeting of the American Educational Research Association, San Francisco.
- Gunstone, R. F., White, R. T. (1981). Understanding of Gravity. **Science Education**. v.6, n. 5, p. 291 - 299.
- Halloun, I. A.; Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. **Am. J. Phys.** **53 (11)**, p. 1056 –1065.
- Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. **European Journal of Science Education**, v.8, n.3, p. 229 – 249.
- Hewson, P. & Hewson, M. (1992). The status of student conceptions. In: R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds). **Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies**, Kiel, Germany: Institute of Science Education, p. 59 – 73.
- Koestler, A. (1989). **O homem e o universo**. 2<sup>a</sup> ed. Ibrasa. São Paulo. 426 p.
- Koyré, A. (1973). **The astronomical revolution: Copernico – Kepler – Borelli**. Cornell University Press, Ithaca, New York, 531 p.
- Koyré, A. (1979). **Do mundo fechado ao universo infinito**. Gradiva. 269 p.
- Koyré, A. (1991). **Estudos de história do pensamento científico**. 2<sup>a</sup> ed. Forense Universitária. Rio de Janeiro, 388 p.
- Kuhn, T. S. (1975). **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo, Ed. Perspectiva, 262 p.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In: I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), **Criticism and the growth of knowledge**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lodge, O. (1960). **Pioneers of Science**. New York: Dover Publications. 404 p.

- Mali, G. B. e Howe, A. (1979). Development of Earth and Gravity Concepts Among Nepali Children. **Science Education**. v. 63, n. 5, p. 685 – 691.
- Manacorda, M. (1986). Depoimento. In: **Revista da ANDE**, 5(10), São Paulo, p.59 – 64.
- Martins, R. A. (1994). Galileu e a rotação da Terra. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.11, n. 3, p. 196 – 211.
- Mason, S. (1985). **Historia de la ciencia**. vol. 2, Alianza Editorial, Madrid.
- Maury, J. P. (1997). **Newton e a mecânica celeste**. Civilização/ Círculo de leitores. 144 p.
- McCloskey, M. et at. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: naive beliefs about the motion of objects. **Science**, v. 210, n. 5, p.1139 – 1141.
- Menezes, L. C. (1980). Novo (?) método (?) para ensinar (?) Física (?). **Revista de Ensino de Física**, v.2, n.2, p. 89 - 97.
- Mortimer, E. F. (1995). Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? In: Escola de Verão para Professores de Prática de Ensino de Física, Química e Biologia, **Coletânea ...**, Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, Serra Negra, São Paulo, p. 56-74.
- Nardi, R.(1994). História da Ciência x Aprendizagem: Algumas semelhanças detectadas a partir de um estudo psicogenético sobre as idéias que evoluem para a noção de Campo de Força. **Enseñanza de las ciencias**, v. 12, n. 1, p. 101-106.
- Nardi, R. (1989). **Um Estudo Psicogenético das idéias que evoluem para a noção de campo - Subsídios para a construção do ensino desse conceito**. Tese de doutorado. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. 292 p.
- Newton, I. (1990). **Principia: princípios matemáticos de filosofia natural**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 292 p.
- Newton, I. (1996). **Óptica**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 293 p.
- Nussbaum, J. e Novak, J. D. (1976). An assessment of children's concepts of the Earth utilizing structured interviews. **Science Education**, v. 60, n.4, p. 535 – 550.
- Nussbaum, J. (1979). Children's Conceptions of the Earth as a Cosmic Body: A cross Age Study. **Science Education**. v. 63, n.1, p. 83 – 93.



- Nussbaum, J. (1985). The Earth as a Cosmic Body. **Children's ideas in science**. Open University. Press. Philadelphia, p. 171 – 192.
- Nussenzveig, H. M. (1997). **Curso de Física Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, v.1, 338p.
- Osborne, R. (1982). Science education: where do we start?. **Australian Science Teachers Journal**, v. 28, n.1, p. 21 – 30
- Peduzzi, L. O.Q. (1998). **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a História e a Filosofia da Ciência em um curso de Mecânica**. Tese de Doutorado. Centro de Ciências da Educação. Universidade Federal de Santa Catarina, 850 p.
- Pfundt, H. e Duit, R. (1994). **Student's Alternative Frameworks and Science Education**. Institute for Science Education, 4 th Edition, Universidade de Kiel, Alemanha, 288 p.
- Pintrich et. al. (1993). Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. **Review of Educational Research**, v. 63, n. 2, p.167 - 199.
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W. and Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v.66, n.2, p. 211-227.
- Posner, G. J.; Strike, K. A. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In.: Duschl, R. and Hamilton, R. J. (Eds.). **Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice**. State University of New York Press, Albany.
- Rival, M. (1997). Os grandes experimentos científicos, Jorge Zahar Ed., 167 p.
- Robilotta, M. R. (1988). O cinza, o branco e o preto - Da Relevância da História da Ciência no Ensino de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.5, n. esp., p. 7 - 22.
- Ruggiero, S. Cartelli, A, Duprè, F. e Vicentini-Missoni, M. (1985). Weight, gravity and air pressure: mental representations by Italian middle school pupils. **European Journal of Science Education**, v.7, n.2, p. 181 – 194.
- Saltiel, E. e Viennot, L. (1985). Que aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontaneo de los estudiantes?. **Enseñanza de Las Ciências**. p. 137 – 144.

- Sanchés Ron, J. M. (1988) Usos y abusos de la historia de la Física en la enseñanza. *Enseñanza de Las Ciencias*, v.6, n.2, p. 179 –188.
- Santos, M. E. V. M. (1991). **Mudança conceitual na sala de aula: um desafio pedagógico**. Livros Horizonte, 260p.
- Sanmarti, N. Casadella, J. (1987). Semejanças y diferencias entre las concepciones infantiles y la evolução histórica de las ciências: el ejemplo del concepto de fuerza y especialmente del de fuerza de gravedad. **Enseñanza de Las Ciências**, 1987, v. 5, n. 1, p. 53 - 58.
- Sequeira, M. e Leite, L. (1991). Alternative conceptions and History of Science in physics teacher education. *Science Education*, v. 75, n. 1, p. 45 – 56.
- Schurmann, P. F. (1945). **História de La Física**. 2 ed. Buenos Aires: Editora Nova, 2v.
- Silveira, F. L. (1993). Uma epistemologia racional-realista e o ensino da Física. Tese de doutorado. PUCRS. Porto Alegre.
- Sneider, C e Pulos, S. (1983). Children's Cosmographies: understanding the Earth's shape and gravity. **Science Education**. v. 67, n.2, p. 205 – 221.
- Solbes, J. e Traver, M.J. (1996). La utilización de la historia de las ciências em la enseñanza de la física y la química. **Enseñanza de las Ciências**, v.14, n.1, p. 103 – 112.
- Solomon, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, v.5, n.1, p. 49-59.
- Steinberg et al. (1990). Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. **International Journal of Science Education**. v. 12, p. 265 –273.
- Tomiliné, A. (1985). **Como os homens descobriram a forma da Terra**. Moscow: Ed. Rádriga.
- Toulmin, S. (1972). **Human understanding**. Princeton: Princeton University Press.
- Treagust, D. F., Smith, C.L. (1986). Secondary students understanding of gravity and the motion of planets. **School Science and Mathematics**, v.89, n.5, p. 380 – 391.

- Villani, A. (1984). Reflexões sobre o ensino de Física no Brasil: Práticas, Conteúdos e Pressupostos. **Revista de Ensino de Física**, v.6, n.2, dez. 1984, p. 76 - 95.
- Zanetic, J. (1995). **Gravitação/ Notas de aula**. IFSP. Universidade de São Paulo. 3v.
- Zilbersztajn, A. (1983). Concepções espontâneas em Física: Exemplos em Dinâmica e implicações para o ensino. **Revista de Ensino de Física**, v.5, n.2, Sociedade Brasileira de Física, dez. 1983, p. 03 - 16.
- Watts, D. & Zylbersztajn, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. **Physics Education**, v. 15, p. 360 – 365.
- Westfall, R. S. (1995). **A vida de Isaac Newton**. Ed. Nova Fronteira. Rio de Janeiro. 328 p.
- Wheatley, G. H. (1991). Construtivist Perspectives on Science and Mathematics Learning. **Science Education**, v. 75, n. 1, p. 9 – 21.
- Whitaker, R. J. (1983). Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion. *Am. J. Phys.* v.51, n. 4, p. 352 – 357.

## ANEXOS

### ANEXO 1

Aikenhead, G. S., Ryan, A. G. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. **Science Education**, 76 (6), 559 - 580.

1. Definir ciência é difícil porque a ciência é complexa e realiza muitas coisas. Mas, basicamente, ciência é:

Sua posição, basicamente:

um estudo de campos tais como biologia, química e física.  
um corpo de (conhecimentos, tais como princípios, leis, teorias, que explicam o mundo ao nosso redor (matéria, energia e vida).  
explorar o desconhecido e descobrir novas coisas sobre nosso mundo e universo e como eles funcionam.  
realizar experimentos a fim de resolver problemas de interesse sobre o mundo ao nosso redor.  
inventar ou projetar coisas (por exemplo, corações artificiais, computadores, veículos espaciais).

encontrar e usar conhecimento para fazer este mundo um melhor lugar para se viver (por exemplo, curando doenças, resolvendo problemas de poluição e melhorando a agricultura).  
Um organização de pessoas (chamadas de cientistas) que têm idéias e técnicas para descobrir novos conhecimentos.

Ninguém pode definir ciência.

Não entendo.

Eu não sei o suficiente sobre este assunto para fazer uma escolha.  
Nenhuma das opções anteriores correspondem ao meu ponto de vista.

2. A ciência apoia-se na suposição de que o mundo natural não pode ser alterado por um ser superior ( por exemplo, uma divindade).

Sua posição, basicamente:

*Os cientistas supõe que um ser superior NÃO alterará o mundo natural:*

- A. porque o sobrenatural está além da prova científica. Outras opiniões, fora do domínio da ciência, podem entender que um ser superior pode alterar o mundo natural.
- B. porque se um ser sobrenatural existisse, os fatos científicos, mudariam numa piscada de olhos. MAS os cientistas repetidamente obtém resultados consistentes.
- C. Depende. O que os cientistas entendem por ser sobrenatural depende de cada cientistas individualmente.
- D. Qualquer coisa é possível. A ciência não sabe tudo sobre a natureza. Portanto, a ciência deve ser aberta à possibilidade de que um ser sobrenatural pode alterar o mundo natural.
- E. A ciência pode investigar o sobrenatural e possivelmente pode explicá-lo. Portanto, a ciência pode assumir a existência de seres sobrenaturais.
- F. Eu não entendo.
- G. Eu não sei o suficiente sobre este assunto para fazer uma escolha.
- H. Nenhuma das opções anteriores correspondem ao meu ponto de vista.

3. Para esta questão, considere que o garimpeiro “descobre” o ouro e que o artista “inventa” a escultura. Algumas pessoas acham que os cientistas

*descobrem* as teorias científicas. Outras, que os cientistas *inventam* as teorias científicas. Qual a sua opinião sobre o assunto?

Sua posição, basicamente:

Os cientistas **descobrem** as teorias científicas:

- A. porque a idéia já estava lá para ser descoberta.
- B. porque a teoria científica é baseada em fatos experimentais,
- C. mas os cientistas inventam métodos para encontrar as teorias.
- D. alguns cientistas podem *tropeçar* numa teoria por acaso, descobrindo-a. Mas outros cientistas podem inventar teorias a partir de fatos que eles já conhecem.

Os cientistas **inventam** as teorias científicas:

- E. porque a teoria é uma interpretação de fatos experimentais que os cientistas descobriram.
- F. porque invenções (teorias) vêm da mente – nós as criamos.
- G. Eu não entendo.
- H. Eu não sei o suficiente sobre este assunto para fazer uma escolha.
- I. Nenhuma das opções anteriores correspondem ao meu ponto de vista.

4. Existem muito mais mulheres cientistas hoje do que costumava-se ter antes. Isto fará diferença nas descobertas científicas. As descobertas científicas feitas por mulheres tendem ser diferentes daquelas feitas por homens.

Sua Posição, Basicamente:

*Não há diferença nas descobertas feitas por cientistas masculinos ou femininos.*

- A. porque qualquer cientista competente, eventualmente fará a mesma descoberta de outro cientista competente.

- B. porque cientistas femininos ou masculinos têm o mesmo treinamento.
- C. porque, acima de tudo, mulheres e homens são igualmente inteligentes.
- D. porque mulheres e homens são iguais em relação a que querem descobrir, em ciência.
- E. porque os objetivos da pesquisa são definidos por demandas ou desejos não apenas dos cientistas, mas de outros.
- F. porque todos são iguais, independente do que fazem.
- G. porque quaisquer diferenças em suas descobertas são devidas a diferenças entre indivíduos. Tais diferenças não têm nada a ver ao fato de ser homem ou mulher.
- H. As mulheres talvez façam descobertas diferentes porque, por natureza ou por educação, mulheres têm diferentes valores, pontos de vista, perspectivas ou características (tais como sensibilidade por conseqüências).
- I. Os homens talvez façam descobertas diferentes porque homens são melhores em ciência do que mulheres.
- J. As mulheres igualmente podem talvez fazer melhores descobertas que os homens porque são geralmente melhor do que os homens em coisas como instinto e memória.
- K. Eu não entendo.
- L. Eu não sei o suficiente sobre este assunto para fazer uma escolha.
- M. Nenhuma das opções anteriores correspondem ao meu ponto de vista.

5. Muitos modelos científicos usados em laboratórios de pesquisa (tais como o modelo do neurônio, DNA, ou do átomo) são cópias da realidade.

Sua posição, basicamente:

Os modelos científicos SÃO cópias da realidade:

- A. porque os cientistas dizem que eles são verdadeiros, então eles devem ser verdadeiros.

- B. B . porque muitas evidências científicas provam que eles são verdadeiros.
- C. porque eles são verdadeiros para a vida. O objetivos deles é mostrar-nos a realidade ou nos ensinar algo a respeito dela.
- D. Os modelos científicos aproximam-se de ser cópias da realidade, porque eles são baseados em observações científicas e pesquisa.

**Os modelos científicos NÃO SÃO cópias da realidade:**

- E. porque eles são simplesmente úteis para aprendizagem e explicação, dentro de suas limitações.
- F. porque eles mudam com o tempo e de acordo com o estado de nosso conhecimento, da mesma forma que as teorias.
- G. porque estes modelos devem ser idéias ou suposições estudadas, uma vez que você realmente não pode a coisa real.
- H. Eu não entendo.
- I. Eu não sei o suficiente sobre este assunto para fazer uma escolha.
- J. Nenhuma das opções anteriores correspondem ao meu ponto de vista.

- 6. Os melhores cientistas são aqueles que seguem os passos do modelo científico.

Sua posição basicamente:

- A. O modelo científico garante validade, clareza, lógica e resultados acurados. Portanto, a maioria dos cientistas segue os passos do modelo científico.
- B. O modelo científico deveria funcionar bem para a maioria dos cientistas, baseado no que nós aprendemos na escola.



- C. O modelo científico é útil em muitas situações, mas não nos garante resultados. Portanto, os melhores cientistas também *usarão também* originalidade e criatividade.
- D. Os melhores cientistas são aqueles que usam qualquer método que possa fornecer resultados favoráveis (incluindo o método da imaginação e criatividade).
- E. Muitas descobertas científicas foram feitas por acidente, e não através do método científico.
- F. Eu não entendo.
- G. Eu não sei o suficiente sobre este assunto para fazer uma escolha.
- H. Nenhuma das opções anteriores correspondem ao meu ponto de vista.

7. Quando uma nova teoria científica é proposta, os cientistas devem decidir se a aceitam ou não. Os cientistas tomam suas decisões por consenso; isto é, os proponentes da teoria devem convencer a grande maioria dos colegas cientistas a acreditar na nova teoria.

Sua posição, basicamente:

Os cientistas que propõem uma nova teoria devem convencer outros cientistas:

- A. mostrando-lhes evidências conclusivas que provam que a teoria é verdadeira.
- B. porque a teoria é útil à ciência somente quando a maioria dos cientistas acreditam nesta teoria.
- C. porque quando um número de cientistas discutem uma teoria e suas novas idéias, os cientistas provavelmente irão revisar ou atualizar a teoria. Em resumo; para atingir um consenso, os cientistas tornam as teorias mais precisas.

Os cientistas que propõem uma nova teoria NÃO devem convencer outros cientistas:

- D. porque a evidência provada fala por si mesma.
  - E. porque os cientistas, enquanto indivíduos, decidirão por eles mesmos se usam ou não aquela teoria.
  - F. porque um certo cientista pode aplicar uma teoria até que esta explique resultados e é útil, não interessa o que os outros cientistas pensem.
  
  - G. Eu não entendo.
  - H. Eu não sei o suficiente sobre este assunto para fazer uma escolha.
  - I. Nenhuma das opções anteriores correspondem ao meu ponto de vista.
8. Mesmo quando as investigações científicas são feitas corretamente, o conhecimento que os cientistas descobrem a partir destas investigações podem mudar no futuro.

Sua posição, basicamente:

- A. porque os novos cientistas refutam as teorias ou descobertas de velhos cientistas. Os cientistas fazem isto com usando novas técnicas e instrumentos aperfeiçoados, através do domínio de novos fatores ou através da detecção de erros na investigação original “correta”.
- B. porque o conhecimento antigo é reinterpretado à luz de novas descobertas. Os fatos científicos podem mudar.
- C. Os conhecimento científico PARECE mudar porque a interpretação ou explicação de velhos fatos pode mudar. Os experimentos corretamente feitos produzem fatos imutáveis.
- D. Os conhecimento científico PARECE mudar porque os novos conhecimentos são somados aos velhos conhecimentos; os velhos conhecimento não mudam.
- E. Eu não entendo.
- F. Eu não sei o suficiente sobre este assunto para fazer uma escolha.
- G. Nenhuma das opções anteriores correspondem ao meu ponto de vista.



## ANEXO 2

Sugestões de textos a serem discutidos nas atividades propostas na parte 3 desta pesquisa.

Bar et. al. (1994). Children's Concepts about weight and free fall.

**Science Education**, v.78, n.2, p. 149 – 169.

Coll, C. et. al. (1998). **Os conteúdos na reforma: ensino e aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes**. Porto Alegre. Artes Médicas, 182 p.

Driver, R. (1989). Student's conceptions and the learning of science. **International Journal of Science Education**, 11, special issue, pp.481 - 490.

Duschl, R. A. Gitomer, D. H. (1991). Epistemological Perspectives on conceptual change: implications for educational practice. **Journal of Research in Science Teaching**. v.28, n. 9, p. 839 – 858.

Duschl, R. A. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.13, n. 1, p. 3- 14.

Gagliardi, R. e Giordan, A. (1986). La história de las ciencias : una herramienta para la enseñanza. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.4, n.3, p. 253 –258.

Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciências en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.6, n.3, p. 291 – 296.

Gil Perez (1991). Que hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? (Intento de síntesis de las aportaciones de la investigación didáctica). **Enseñanza de Las Ciencias**, v.9, n.1, p. 69 – 77.

Nardi, R.(1994). História da Ciência x Aprendizagem: Algumas semelhanças

detectadas a partir de um estudo psicogenético sobre as idéias que evoluem para a noção de Campo de Força. **Enseñanza de las ciências**, v.12, n.1, p. 101-106.

Pintrich et. al. (1993). Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. **Review of Educational Research**, v. 63, n. 2, p.167 - 199.

Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W. and Gertzog, W. A. (1982).

Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v.66, n.2, p. 211-227.

Posner, G. J.; Strike, K. A. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In.: Duschl, R. and Hamilton, R. J. (Eds.). **Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice**. State University of New York Press, Albany.

Santos, M. E. V. M. (1991). **Mudança conceitual na sala de aula: um desafio pedagógico**. Livros Horizonte, 260p.

Wheatley, G. H. (1991). Construtivist Perspectives on Science and Mathematics Learning. **Science Education**, v.75, n.1, p. 9 – 21.

### ANEXO 3

#### **Caracterização dos Docentes de Física do Ensino Médio participantes do Projeto Pró-Ciência.\***

O quadro de docentes de Física atuando no ensino médio que participaram do Projeto foi composto de 48 docentes de quinze cidades do centro-oeste paulista: Bauru, Jaú, Birigüi, Macatuba, Lençóis Paulista, Agudos, Pederneiras, Dois Córregos, Itapuí, Bariri, Bocaina, Borborema, Avaí, Cabrália Paulista e Borebi. Na seleção foram priorizados os docentes na seguinte ordem: a) docentes licenciados em Física atuando na rede pública; b) docentes licenciados em outras áreas ministrando aulas de Física na rede pública; c) licenciandos docentes da rede pública.

As características gerais destes docentes são as seguintes:

- Quanto à formação, apenas 51% têm formação em Licenciatura em Física, o que significa que cerca da metade dos docentes que ministram a disciplina Física não têm formação específica na área de conhecimento;
- Do total de participantes, 9% cursaram mais de um curso de Licenciatura e 21% cursaram outro curso de graduação destinado a formação profissional (Engenharia, Arquitetura, Administração de Empresas e Pedagogia);
- Cerca de 21% cursaram pelo menos um curso de especialização;
- Cerca de 36% dos participantes são iniciantes no magistério, ou seja, têm menos de três anos de exercício; 75% deles têm menos de dez anos de exercício;
- Em relação às condições de trabalho, 51% ministram mais de 31 horas-aula semanais e desses, 40% trabalham mais de 40 horas;
- Cerca de 30% trabalham nas escolas públicas e privadas,

---

\* Os dados foram extraídos do Relatório Científico do Projeto Pró-Ciência, encaminhado à FAPESP em maio/2000.

- Quanto a atuação profissional , muitos dos participantes ministram outras disciplinas além de Física, nos diferentes níveis e modalidades de ensino; em resumo, podemos afirmar que cerca de 45% deles ministram outras disciplinas, além de Física, e cerca de 10% ministram mais de duas disciplinas.

Dos 48 docentes caracterizados acima, responderam ao questionário 34 participantes, ou seja, esta foi a amostra sobre a qual inferimos nossas conclusões.

Numa análise geral, podemos afirmar que a maioria dos professores bolsistas são iniciantes ou ainda estão na fase de consolidar seu ideário pedagógico, e portanto, estão abertos à novas propostas. O excesso de carga horária ministrado e a diversidade de disciplinas que ministram, contudo, apontam para o fato de que têm uma restrita disponibilidade para o preparo de aulas e materiais de apoio, o que pode representar obstáculo para mudanças de postura, a menos de trabalhos sistemáticos como o proporcionado em programas de educação continuada, como é caso deste Projeto.